

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çağında Harita Projeksiyonları Üzerine Düşünceler

İbrahim Öztuğ Bildirici¹, Sevgi Böge^{2*}, Hatice Atalay³, Nesibe Necla Uluğtekin³

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, Konya

²Selçuk Üniversitesi, Kadınhanı Faik İlçil Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Programı, Kadınhanı, Konya

³İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Ayazağa, İstanbul

Özet

Yeryüzü için tanımlı bir referans yüzeyini (küre ya da elipsoit) düzleme dönüştürme işlemi kısaca harita projeksiyonu olarak ifade edilir. Harita projeksiyonu referans yüzeyi koordinat sistemi düzlem koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi sağlayan bir fonksiyon çifti ile tanımlanır. Yeryüzü için kullanılabilecek referans yüzeyleri kapalı yüzeyler olduğundan düzleme aktarımda alan, açı ve uzunluklarda değişiklikler olması kaçınılmazdır. Bu değişimler bozulma ya da deformasyon olarak nitelendirilir. Bu çalışmada harita projeksiyonlarının tanımı ve ayrımı farklı bir bakış açısı ile tartışılmış, iyi bilinmeyen ya da doğru anlaşılmayan yönlerine dikkat çekilmiştir. Bu kapsamda kartografik tasarım açısından doğru olmayan iki projeksiyon uygulamasına dikkat çekilmiştir. Bunlardan biri Merkator projeksiyonu ile yapılan yanlış uygulamalardır. Bu projeksiyonda abartılı düzeyde alan deformasyonu söz konusu olup yeryüzünün tamamının gösteriminin yapılması uygun değildir. Ancak bu amaçla yaygın bir şekilde kullanılmıştır ve kullanılmaya devam edilmektedir. Bir diğer problemli uygulama coğrafi koordinatların doğrudan harita projeksiyonu olarak kullanımıdır. Asıl amacı veri depolama olan ve coğrafi olarak adlandırılan, genel olarak EPSG4326 kodu ile tanınan projeksiyon ve koordinat sistemi özellikle ülkemizin bulunduğu bölge için uygun olmayan bir gösterime neden olur. Bu sistemin harita yapımında kullanılması ile meridyen uzunluğu koruyan silindirik projeksiyon kullanılmış olur. Bu projeksiyonun ekvator civarında kullanımı uygundur. Bilişim teknolojilerinin yaygınlaşması, veri ve yazılımlara erişimin kolaylaşması zaman zaman kartografik tasarımın kurallarını arka plana itmektedir. Bu bağlamda doğru harita projeksiyonu seçimi ve kullanımı da önemlidir.

Anahtar Sözcükler: Harita Projeksiyonları, Referans Yüzeyi, Projeksiyon Deformasyonları, Merkator Projeksiyonu

Abstract

Map projection is a process of transforming a reference surface (sphere or ellipsoid) for the earth to the plane, shortly. It is defined by means of two functions, which relates the coordinate system on the reference surface with those of plane. Since reference surfaces used for the earth are closed surfaces, transformation to the plane is not possible without any distortions in areas, angles and distances. In this paper the properties and classifications of map projections are discussed from a different point of view. In this context two problematic usages are focused on: The famous Mercator projection and the so called geographical coordinate reference system, mostly known as EPSG4326. Mercator projection causes significant area distortions and is obviously not suitable for world maps. However, it has been widely used for world maps! Today, data sets including free ones are distributed in geographical coordinate system, where horizontal positions are defined with longitude and latitudes in degrees. WGS84 ellipsoid is mostly used for such data sets. Such data are termed EPSG4326, which is a meta data coding. If such data are displayed by using this coordinate system, the resulting projection is the equidistant cylindrical projection, which is normally used for regions near equator. Such a system is absolutely not suitable for regions on middle latitudes like Turkey. We see many maps of Turkey made in this projection. Nowadays, information technologies make easy to reach suitable software and data. As a result people without cartographic knowledge make maps. The correct choose and usage of map projections are important in this context.

Keywords: Map Projections, Reference Surface, Projection Distortions, Mercator Projection

1. Giriş

Harita; yer ya da diğer büyük gök cisimlerinin yüzeylerine veya bu yüzeylerin bir bölgesine ait konulara ilişkin obje ve bilgilerin, doğadaki konumlarını çizim altlığı (düzlem) üzerinde belli matematik kurallara göre yansıtan, kartografik işaretlerle gösteren ve gerektiğinde yazılı sözcüklerle tamamlayarak aktaran bir bilgi iletişim aracıdır” şeklinde tanımlanabilir (Uçar ve Uluğtekin 2006). ICA (International Cartographic Association) tanımı ise; harita yapımcısı tarafından seçilmiş objeler/olgularla temsil edilen gerçekliğin işaretleştirilmiş gösterimi olarak verilmiştir. Tanımda ayrıca haritanın mekânsal ilişkileri anlamak gerektiğinde kullanılmak üzere tasarlandığı vurgulanmıştır (URL 1).

Haritalar doğası gereği yeryüzünün düzlem üzerine izdüşümünü gösterirler. Bu şekilde çalışıldığında haritanın kullanımı, algılanması ve saklanması açısından önemli yararlar sağlanır. Alternatif bir kartografik gösterim aracı küre modelleridir. Yeryüzünün şekli eğrisel bir yüzey olduğundan harita düzlemine aktarılması basit bir küçültme/genelleştirme problemi değildir. Harita projeksiyonu en basit anlamda eğrisel bir yüzeyin (küre ya da elipsoit) düzleme geometrik dönüşümüdür. Eğrisel yüzey koordinatları ile harita düzlemi koordinatları arasında dönüşümü sağlayan bir çift fonksiyondan oluşur. Bir fonksiyon çiftinin harita projeksiyonu olması için Jakobi determinantının sıfırdan farklı olması gerek ve yeterdir (Bildirici 2019, syf:139).

Yeryüzünün şekli çeşitli bakış açıları ve gereksinimlere göre küre, elipsoit ya da jeoit olarak kabul edilir. Hangi yüzey seçilirse seçilsin yeryüzü kapalı bir yüzey olup, düzleme şekil bozulmaları olmadan aktarılamaz.

Harita yapmanın/üretmenin temel aşamalarını üç adımda düşünebiliriz (Robinson vd. 1995);

- 1) Yeryüzünün şekli ve boyutlarının belirlenip bir koordinat sistemi tanımlanması,
- 2) Yeryüzündeki şekillerin harita düzlemine aktarılması (harita projeksiyonu),
- 3) Haritanın tasarlanması (genelleştirme, güncelleme, işaretleştirme, basım, kullanım).

Bu açıdan bakıldığında harita projeksiyonu önemli bir aşama olarak karşımıza çıkmaktadır.

2. Yeryüzünün Şekli

Harita projeksiyonu eğrisel bir yüzeyin (uygulamada küre ya da elipsoit) düzleme dönüşüm işlemi olarak tanımlanmıştır. Burada eğrisel yüzeyin geometrik ya da matematiksel anlamda uygulanabilir bir dönüşüme tabi tutulması için parametrik bir yüzey olarak ifade edilebilmesi gerekir. Yeryüzünün şekli (topografik arazi yüzeyi) parametrik denklemlerle tanımlanması mümkün olmayacak derecede karmaşık bir yüzeydir. Ancak belli bir yaklaşıklık derecesi ile küre ya da elipsoit kabul edilebilir. Uygulamaya göre bu yaklaşımlar yeterli doğruluktadır ve harita amacı/ölçeğine göre seçilirler. Arthur H. Robinson'ın yorumuyla yeryüzü 10 inç çapında bir bowling toplu olsaydı üzerindeki girinti ve çıkıntılar böyle bir topun yapımında kaçınılmaz olan düzensizlikler (topun üzerinde gözle görülmeyecek kadar girinti ve çıkıntılar) kadar olurdu (Robinson vd. 1995). Bu bakımdan bir bütün olarak düşündüğü zaman yeryüzü mükemmele yakın bir küredir. Ortalama küre yüzeyinden sapmalar ± 10 km civarında, ortalama küre yarıçapının 6371 km olduğu düşünülürse bu farklılıklar % 1.5 düzeyindedir. Bu bakış açısı yanında yüzeyden olan km düzeyinde farklılıkların önemli olduğu durumlarla da karşılaşılır. Parametrik denklemlerle ifade edilemeyen durgun deniz düzeyine yakınsayan jeoit yüzeyi bile bir yakınsama/genelleştirmeden başka bir şey değildir.

Seçilen referans yüzeyleri açısından uygulamacıların kimi zaman çok farkında olmadığı bir gerçek, yeryüzündeki bir noktanın önce referans yüzeyine sonra da harita düzlemine izdüşürülmesidir. Harita projeksiyonlarında yeryüzü küre ya da elipsoit kabul edilmek zorunda olduğuna göre, yeryüzündeki bir nokta önce yüzey normali doğrultusunda referans yüzeyine izdüşürülür. Referans yüzeyindeki nokta harita düzlemine taşınır.

3. Projeksiyonların Özellikleri ve Sınıflandırılması

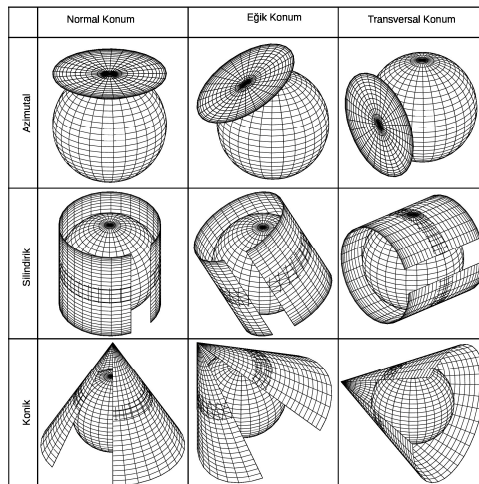
Harita projeksiyonları çeşitli açılardan sınıflandırılır. Referans yüzeyinden düzleme izdüşüm doğrudan yapılabildiği gibi düzleme açılabilen koni ve silindir yüzeyleri kullanılarak da yapılabilir. Bu bakımdan,

- Azimutal (düzlem)
- Silindirik
- Koni

projeksiyonlardan söz edilir. Bir başka ayırım projeksiyon yüzeyinin referans yüzeyi ile ilişkisine göre yapılır. Bu açıdan projeksiyonlar üçe ayrılır.

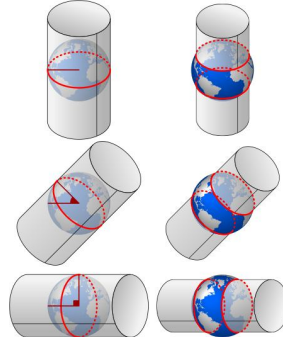
- Normal konumlu
- Transversal
- Eğik konumlu

Yukarıda bahsedilen sınıflandırma Şekil 1'de görsel olarak açıklanmıştır.



Şekil 1: Projeksiyon Yüzeyleri (Bildirici 2019)

Yukarıda bahsedilen projeksiyonlarda bir nokta (azimutal projeksiyonlarda teğet nokta) etrafında ve/veya bir paralel daire boyunca deformasyon oluşmaz. Silindirik ve konik projeksiyonlarda teğet alınan paralel daire için bu durum geçerlidir. Azimutal projeksiyonlarda bir paralel, diğerlerinde iki paralel daire içinde bu deformasyon oluşmama durumu sağlanabilir. Bu durum geleneksel kaynaklarda “kesen projeksiyon” olarak nitelendirilir (Şekil 2). Lapaine ve Francula (2016) harita projeksiyonlarında terminolojiyi tartıştıkları çalışmalarında bu kavramın kullanılmamasını savunmaktadırlar. Bunun nedeni kesme ve teğet olma durumunun her projeksiyon türü için geometrik olarak geçerli olmamasıdır. Bunun en tipik örneklerinden biri iki standart paralelli meridyen uzunluğu koruyan silindirik projeksiyondur. Burada meridyen uzunluğunun korunması için iki standart paralel arasındaki meridyen yay uzunluğunun değişmeden düzleme aktarılması gerekir. Bu durumda küredeki yayın silindirdeki kirişe eşit olma durumu ortaya çıkar. Bu da geometrik olarak mümkün olmadığına göre küre ile silindir arasında Şekil 2’deki gibi bir ilişkinin var olmaması anlamına gelir.

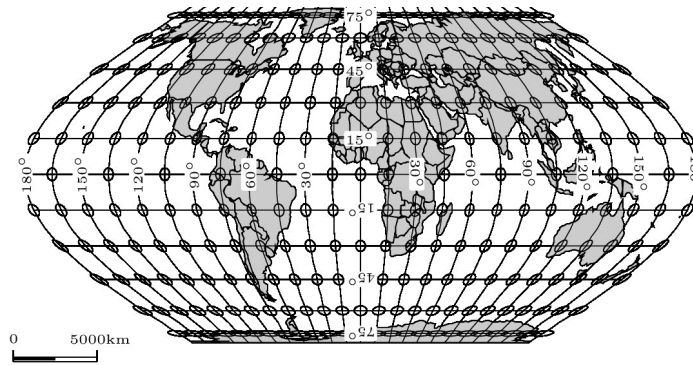


Şekil 2: Bir ve iki paralelli silindirik projeksiyon (URL 8)

Azimutal, silindirik ve konik projeksiyonlar gerçek anlamlı projeksiyon yüzeyleri olarak bilinir. Bu tür projeksiyonların bazıları perspektif özelliğine sahiptir. Bu durumda bir projeksiyon merkezi söz konusudur. Azimutal projeksiyonlardan streografik (izdüşüm merkezi karşı kutupta), ortografik (izdüşüm merkezi sonsuzda) ve gnomonik (izdüşüm merkezi kürenin merkezi) projeksiyonlar bu tür projeksiyonların tipik örnekleridir. Genel olarak perspektif özelliği harita projeksiyonlarında istenen deformasyon özelliklerini (alan, açı koruma vb.) sağlamaz. Bu nedenle bu tür projeksiyonların kullanımı sınırlıdır.

Bazı projeksiyonlarda gerçek anlamlı projeksiyon yüzeyleri tanımlı değildir. Yalnızca eğri yüzey koordinatları (örneğin coğrafi koordinatlar) ile harita düzlemi dik koordinatları arasındaki ilişkileri sağlayan fonksiyonlar tanımlıdır. Bu tür projeksiyonlar gerçek anlamlı olmayan projeksiyonlar olarak bilinir.

Gerçek anlamlı olmayan projeksiyonlar gerçek anlamlı projeksiyon yüzeylerinden türetilirler. En yaygın kullanım alanı yeryüzünün tamamının gösterilmesidir. Bu bağlamda en yaygın kullanılanları gerçek anlamlı olmayan silindirik projeksiyonlardır. Bir örneği Şekil 3’de görülen Eckert 6 projeksiyonudur. Şekilde deformasyonları görselleştirmek amacıyla endikatis gösterimleri de verilmiştir. Endikatis kısaca kürede aynı boyuttaki dairelerin projeksiyondaki izdüşümleridir (elipsler).



Şekil 3: Eckert 6 projeksiyonu (bkz. Not)

Gerçek anlamlı olmayan projeksiyonlar genel olarak yeryüzünün tamamını göstermek için kullanılır. Bu konuda kapsamlı bir tartışma Bildirici (2019, syf.213)’de verilmiştir.

Orijinal yüzeyin düzleme aktarımında açılar, alanlar ve uzunluklar değişime uğrar. Bu üç elemanın da deformasyona (bozulmaya) uğramaması mümkün olmamakla birlikte birinin korunmasını sağlayacak projeksiyonlar geliştirilmiştir. Bu bağlamda,

- Açı koruyan (konform)
- Uzunluk koruyan
- Alan koruyan

projeksiyonlardan söz edilir. Deformasyonlar ve coğrafi ağı görünümü (meridyen ve paralellerin harita düzleminde görünümü) çoğu kez yanlış yorumlara yol açan konular olup, biraz daha ayrıntılı tartışılmasında yarar vardır.

Açı koruma kavramı Türkçe'ye Almanca kaynaklardan aktarılmıştır. İngilizce kaynaklarda daha çok konform kavramı kullanılır. Konform açı koruma anlamında değil düzgün, uygun anlamında olup, şekillerin benzerliğine işaret eder. Bu konuda bir başka terim ortomorfik olup, düzgün biçimli anlamındadır. Bu tür projeksiyonlarda bir nokta etrafında diferansiyel anlamdaki uzunluk değişimi sabit kabul edilmiştir. Her yönde uzunluk değişiminin diferansiyel anlamda eşit kabul edilmesi, diferansiyel anlamda (sonsuz küçük) kenarların arasında açılarının korunmasını (referans yüzeyinden düzleme aktarılırken değişmemesi) sağlar. Bu, her tür açının korunacağı anlamına gelmez. Bunun en tipik örneği kaynaklarda açı koruyan Gauss-Krüger projeksiyonu için açıklık açısı indirgeme bağıntılarının verilmesidir. Burada altı çizilmesi gereken bir başka önemli nokta iki noktayı harita düzleminde birleştiren doğrunun bu iki noktayı referans yüzeyinde birleştiren jeodezik eğrinin izdüşümü olmamasıdır.

Uzunluk koruma kavramından belli bir doğrultudaki uzunlukların korunması anlaşılmalıdır. Genel olarak normal konumlu projeksiyonlarda meridyen uzunluğunun korunması söz konusudur. Bazı projeksiyonlar ise paralel daire uzunluğunu korur. Projeksiyonun eğik ya da transversal olması durumunda yukarıdaki ifadeler geçerli olmaz.

Alan koruma ise sonlu büyüklükler için geçerlidir. Burada söz konusu olan meridyen ve paraleller ile sınırlı bölgelerin alanlarının korunmasıdır. Herhangi bir şeklin alanı söz konusu ise şekli oluşturan kenarların referans yüzeyinde ve düzlemde birbirinin izdüşümü olmamasından dolayı aykırılıklar oluşur. Bu olumsuzluk şekli oluşturan kenarlar kısalıdıkça etkisini yitirir.

Bazı projeksiyonların özel eğrilerle ilgili özellikleri vardır. Bu bakımdan iki projeksiyon öne çıkar. Merkator projeksiyonunda loksodrom (meridyenleri sabit açı altında kesen eğri) eğrilerinin, gnomonik projeksiyonda ise büyük daire yayları (kürede en kısa bağlantı eğrisi) doğru parçaları olarak görünür. Loksodrom eğrilerinin açıları da projeksiyonda korunur, ancak uzunlukları değişir.

3.1. Standartlaştırma

Teorik olarak sonsuz sayıda harita projeksiyonu tanımlanması mümkündür. Aynı projeksiyonun değişik uygulamaları vardır. Standart paralel seçimleri, ölçek faktörü uygulamaları, koordinat sisteminin tanımı gibi parametreler nedeniyle matematiksel olarak aynı ancak parametreleri farklı seçenekler ortaya çıkarır. Burada referans yüzeyi, projeksiyon ve projeksiyonun parametreleri bir "Koordinat Referans Sistemi" (KRS) tanımı oluşturmaktadır. Standart harita üretimlerinde geleneksel olarak UTM (Universal Transversal Merkator) gibi standartlar belirlenmiştir. Ancak bilişim teknolojileri ve buna paralel olarak coğrafi bilgi bilimindeki gelişmeler geniş kapsamlı bir standart tanımlama ve kodlama gereksinimi ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda en yaygın kullanılan kodlama sistemi EPSG'dir.

EPSG (The European Petroleum Survey Group), Türkçesiyle Avrupa Petrol Araştırma Grubu, 1985 yılında jeodezik parametrelerden oluşan bir veri seti oluşturmuştur. Kendi üyelerinin kullanımı için oluşturulan bu veri setleri, 1993 yılında halka açılmıştır. Jeodezik parametreler, coğrafi koordinat sistemleri, ölçü birimleri ve dünya elipsoidleri için yaygın olarak kullanılan bir veri tabanı olan "EPSG Jeodezik Parametre Veri Seti" yayınlamıştır. Bu veri seti küresel, bölgesel, ulusal veya yerel olabilen koordinat referans sistemleri ve koordinat dönüşümlerinin tanımlarının bir veri setidir. 2005 yılında, IOGP (The International Association of Oil & Gas Producers) ile EPSG (The European Petroleum Survey Group) birleşerek Geomatik Komitesi'nin bir parçası olmuştur. Karışıklığa yer vermemek için "EPSG jeodezik parametre veri seti" yerine kısaca "EPSG" diye kullanılmaktadır (URL 2).

SRID (Spatial Reference System Identifier) olarak bilinen sayılar ile mekânsal referans sistemlerini ifade etmek mümkündür. EPSG tarafından tanımlı SRID kodları da vardır. En yaygın olarak kullanılanlar;

EPSG 4326: WGS84 (World Geodetic System 1984) için, enlem / boylam koordinatları ile tanımlıdır. 2 boyutludur.

EPSG 3857: Google Maps, Bing Maps, OpenStreetMap, Esri gibi birçok web tabanlı haritalama aracı tarafından görüntülenmek üzere kullanılan Web Merkator Projeksiyonudur. 3 boyutludur.

EPSG 23036: Büyük ve orta ölçekteki topografik haritalar için kullanılır. Jeodezik KRS, ED50 / UTM 6° (European Datum 50 / Universal Transvers Mercator) ile tanımlıdır. 2 boyutludur (URL 3).

3.2. Projeksiyon Seçimi

Teorik olarak sonsuz sayıda harita projeksiyonu seçeneği olduğuna göre hangi durumlarda hangi projeksiyonun seçileceği önemli bir problem olarak karşımıza çıkar. Standart harita üretimlerinde KRS tanımı yönetmelik ve yönergelerle belirlenmiş olsa da (örneğin BÖHMBÜY 2018: Madde 10) küçük ölçekli harita çalışmalarında bağlayıcı kurallar yoktur. Bu konuda kaynaklarda çeşitli tartışmalar vardır (Bugayeskiy ve Snyder 1995, Canters 2002).

Genel kabul gören bazı öneriler ana hatları ile aşağıdaki gibidir;

- Bir yarım küreden daha az bir bölgenin haritası yapılıyorsa kutuplar ve çevresinde azimutal, orta enlemli bölgelerde konik, ekvator ve çevresinde silindirik projeksiyonlar tercih edilir.

- Büyük ölçekli topografik harita ve orta ve küçük ölçekli fiziki harita çalışmalarında konform projeksiyonlar tercih edilir.
- Büyük bölgelerin küçük ölçekli haritaları için alan koruyan projeksiyonlar önerilir.
- Enleme bağlı konularda yapılan küçük ölçekli (özellikle yeryüzünün tamamının gösterildiği haritalar) çalışmalarda gerçek anlamlı olmayan silindirik projeksiyonlar yaygın olarak kullanılır. Bu tür projeksiyonlarda paraleller yatay doğrular biçiminde gösterildiği için enleme bağlı konuların anlaşılması ve yorumlanmasında kolaylık sağlanır.
- Belli bir ülke ve bölge bazında yapılan çalışmalarda bölge yaklaşık daire biçimli ise eğik konumlu azimutal projeksiyonlar tercih edilir.

Bu öneriler daha da ayrıntılı olarak genişletilebilir. Projeksiyon seçiminde haritanın amacı ve hedef kullanıcı kitlesi, çalışılan bölge ve ölçek önemli rol oynar. Bu kısıtlara göre bölgede ortaya çıkacak projeksiyon deformasyonları hesaplanıp analiz edilmeli, maksimum deformasyon değerlerinin yapılacak çalışma açısından kabul edilebilir olup olmadığına karar vermelidir.

Son yıllarda geliştirilmiş İnternet tabanlı projeksiyon seçim araçları da kullanıcıları uygun projeksiyon seçimi konusunda yönlendirmektedir. Web tabanlı bazı yazılımlar ve özellikleri aşağıdaki gibidir;

- **Projection Wizard:** Seçilen bölge için en uygun projeksiyon önerileri yapan bir yazılımdır (URL 4).
- **The True Size:** Merkator projeksiyonunda oluşan alan deformasyonunu kavramaya yardımcı olmak üzere tasarlanmıştır. Ülkeler seçilip konumları ve yönleri değişince projeksiyondaki görünümünü gösterilir (URL 5).
- **Compare Map Projections:** Çok zengin bir harita projeksiyonu arşivi ve seçilen iki projeksiyonu karşılaştırma olanakları sunmaktadır (URL 6).
- **Flex Projector:** Harita projeksiyonu seçimi için Projection Wizard yazılımına benzer bir masaüstü uygulamasıdır. Kullanımı ücretsizdir. (URL 7) adresinden indirilip kurulabilir.

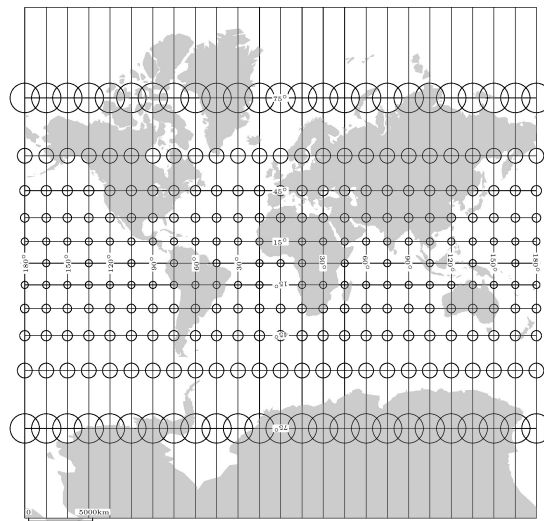
4. Yaygın Kullanılan Bazı Projeksiyon ve Koordinat Sistemleri Üzerine Bir İrdeleme

4.1. Merkator Projeksiyonu

Merkator projeksiyonu Hollandalı (Flaman) kartograf Gerardus Mercator tarafından 1569 yılında sunulmuştur (Snyder, 1993). Tarih boyunca en çok tanınan harita projeksiyonudur. Normal konumlu konform silindirik projeksiyondur. Hem küre hem de elipsoit referans yüzeyi alınarak çok sayıda uygulaması vardır.

Küre ya da elipsoit yüzeyinde meridyenleri sabit açı altında kesen eğri olan loksodrom eğrisi pusulanın temel navigasyon aracı olduğu dönemde denizcilikte önemliydi. Gemiler sabit pusula açısı altında yol alarak yönlerini bulabiliyorlardı. Merkator projeksiyonunun en önemli özelliği loksodrom eğrilerini meridyenle yaptığı açı (azimut) korunarak doğru parçaları olarak göstermesiydi. Bu şekilde harita üzerinde iki nokta birleştirilip açı ölçüldüğünde loksodrom yolunun azimutu bulunmuş oluyordu.

Silindirik projeksiyonlarda coğrafi ağın dik koordinat sistemi oluşturması bunun üzerine Merkator projeksiyonunun konform olması projeksiyonun yaygın kullanımına neden olan önemli etkenler arasındadır. En önemli problemi çok ciddi alan büyümelerine yol açmasıdır. Bu nedenle yeryüzünün tamamının gösterimine uygun olmadığı kartografik çevrelerce sürekli dile getirilmiştir. Genel okuyucuya hitap eden bir tartışma Garfield (2012, syf:112) tarafından verilmiştir.



Şekil 4: Merkator projeksiyonu (bkz. Not)

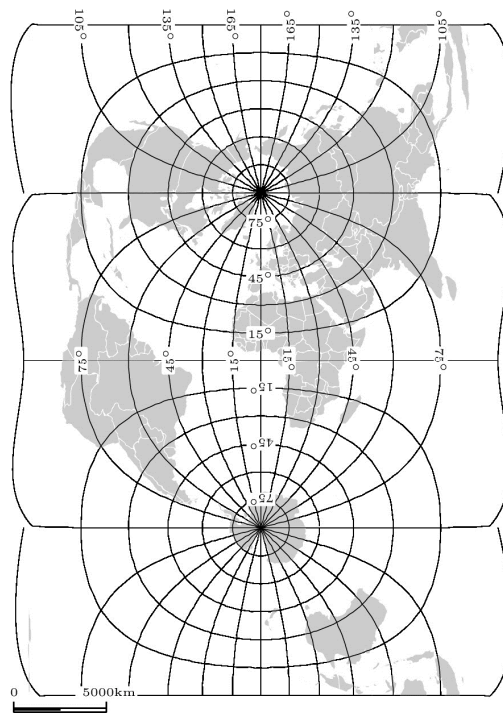
Gerçek anlamlı olmayan ve optimal deformasyon özelliklerine sahip gerçek anlamlı olmayan projeksiyonlarda çeşitliğin artması sonucu Merkator projeksiyonunun dünya haritalarında kullanımı Google Maps ve benzeri çevrimiçi harita servislerinin ortaya çıkışına kadar azalmıştır. Yukarıda değinilen coğrafi ağı görünümü ve konform olma özelliği bu kez bilgisayar grafiği bakımından çok yararlı görülmüş ve bu tür sistemlerde bazı değişikliklerle yeniden Web Mercator adı ile yaygın bir şekilde kullanıma girmiştir. Özellikle binaların görüldüğü ölçeklerde (zoom düzeylerinde) kare, dikdörtgen biçimlerin korunması amacı da bu tercihte rol oynamıştır. Web Mercator uyarlaması da kartografi kaynaklarında eleştirilmiştir (Battersby vd. 2014, Bildirici ve Kırtıoğlu 2016). Çevrim içi harita servisleri dünya düzeyinde de görüntülendiğinden alan büyümesi etkisi yine etkili olmaktadır. Bu eleştiriler karşısında başta Google Maps ve benzeri çevrim içi harita sağlayıcıları tarafından küre görünümü seçeneği eklenmiştir. Bu şekilde kullanıcı isterse harita görünümünden sanal küre görünümüne geçebilmektedir. Bu çözümün ortaya çıkışı sanal küre uygulamalarının masaüstünden web ortamına taşınmasının teknolojik olarak kolaylaşması ile de ilgilidir.

Merkator projeksiyonun diğer bir uygulaması jeodezik amaçlıdır. Elipsoit referans yüzeyi alınarak büyük ölçekli harita yapım çalışmalarında transversal konumda kullanılır (Şekil 1). Bu uygulamada bir meridyen boyunca teğet bir, tabanı elips olan bir silindire izdüşüm söz konusudur. Bu seçenekte de seçilen meridyenden uzaklaştıkça hızla artan deformasyonlardan kaçınmak için projeksiyon dilimler halinde uygulanır. Gauss-Krüger projeksiyonu olarak da bilinen bu projeksiyon 3 derecelik dilim uygulamasıyla 1:1 000 - 1:5 000 (BÖHMBÜY 2018; Madde 79), 6 derecelik UTM uygulamasıyla orta ölçekli harita çalışmalarında (1:25 000 - 1:250 000) kullanılır. Burada dilimler halinde kesikli bir projeksiyon uygulaması söz konusu olmadığından tüm ülkenin bu projeksiyonda gösterilemeyeceğinin altını çizmek gerekir.

Dilim uygulamasının iki nedeni vardır;

- Dönel elipsoit doğası gereği hesaplamalarda kullanılan bağıntıların terim sayısının en çok 6 derece uygulaması için yeterli olması
- Orta meridyenden uzaklaştıkça artan deformasyonlar

Küre referans yüzeyi alınırsa yukarıdaki birinci neden ortadan kalkar. Bu şekilde dilim genişliği artabilir. Şekil 5’de başlangıç meridyeni orta meridyen alınarak bir dünya görünümü verilmiştir.



Şekil 5: Merkator projeksiyonunda yeryüzünün tamamının görünümü (bkz. Not)

Şekil 5'deki ana karalar ve coğrafi ağıın görünümüne biraz daha yakından bakmakta yarar vardır. Burada iki soru ortaya çıkmaktadır;

1. Projeksiyon konform/açı koruyan olduğu halde neden belirgin şekil bozulmaları oluşmaktadır?
2. Coğrafi ağ neden ortogonal değildir? Konform projeksiyonlarda meridyen ve paralellerin dik kesişmesi gerekmez mi?

Yukarıda da değinildiği bir nokta etrafında sonsuz küçük kenarlar arasında açı korunur. Sonlu büyüklükteki kenarların arasındaki açılar korunmaz. Bu nedenle açı koruyan projeksiyonların şekilleri koruma gibi bir özelliği yoktur. Diğer seçeneklere göre orijinal yüzeydeki şekiller harita düzlemindeki izdüşümlerine daha fazla benzerler. Orta

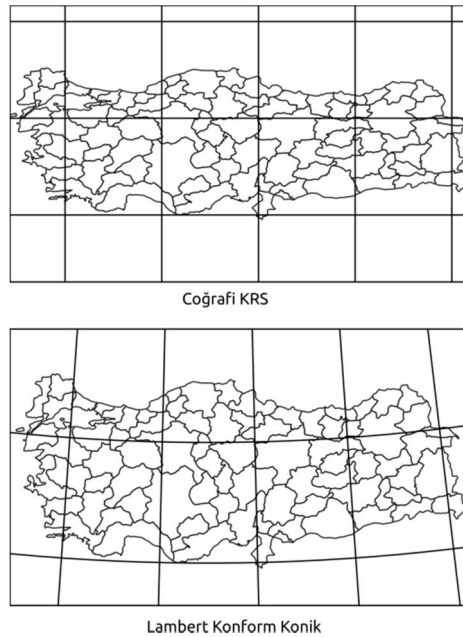
meridyen civarında şekil benzerliğinin çok iyi olduğu (silindir 0 meridyeninden teğet olduğu için), uzaklaştıkça hem alan büyümesi hem de şekil bozulması olduğu görülmektedir (Güney Amerika şekline dikkat edin!).

Coğrafi ağıın görünümü ortogonal gibi gözükme de aslında ortogondur. Burada da meridyenlerin ve paralellerin dik kesişmesi diferansiyel anlamdadır. Şekildeki her noktada meridyen ve paralellerin kesiştikleri noktalarda teğetleri birbirine diktir. Bu nedenle UTM projeksiyonunda üretilen paftaların pafta resim alanları dikdörtgen değildir!

4.2. Coğrafi Koordinat Referans Sistemi

Coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımının yaygınlaşması ile birlikte coğrafi, latlong gibi isimler altında bir KRS kullanımı yaygınlaşmaya başladı. Referans yüzeyi WGS84 elipsoiti ise bu tanımlama EPSG 4326 kodu ile bilinir. Global sayısal yükseklik modelleri (SRTM, ASTER gibi), ücretsiz dağıtılan vektör veriler (Natural Earth, Digital Chart of the World gibi) bu KRS’de tanımlanmış dosyalarla dağıtılır. Zaman zaman bu tanımlama “projeksiyonsuz” olarak nitelendirilir ki doğru değildir. Burada söz konusu olan x, y koordinatlarının derece biriminde coğrafi koordinatlar olarak alınmasıdır. Görüntülediği zaman uzunluk koruyan normal konumlu silindirik projeksiyon ile özdeşdir.

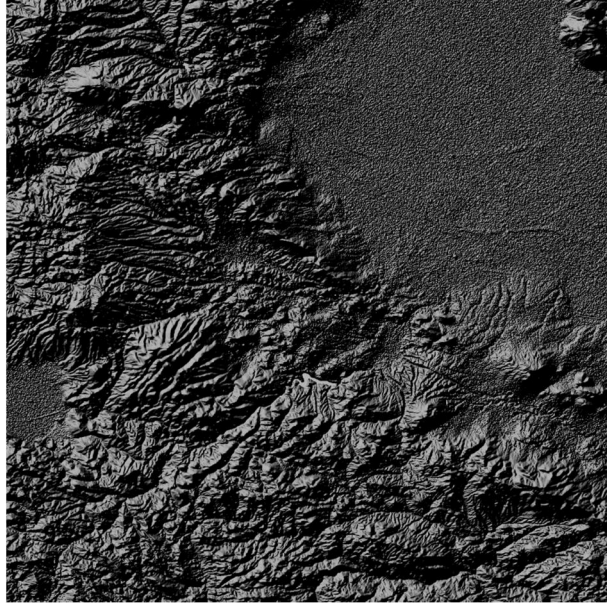
Bu tür bir tanımlama çok çeşitli projeksiyon sistemlerinin birbirine dönüşüm problemlerini en aza indirmek için ortaya çıkmıştır. Genel olarak yazılımların çoğunluğu verileri arka planda bu KRS’de tutar, istenilen projeksiyonda görüntüler, kullanır. Bu KRS tanımı öncelikle veri depolama amaçlıdır. Harita yapmak için kullanılmamalıdır. Ancak bu projeksiyonda yapılmış çok sayıda haritaya çeşitli ortamlarda sık sık rastlanmaktadır. Şekil 6’da EPSG 4326 ve Lambert konform konik projeksiyonunda Türkiye haritası karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. İkinci seçeneğin Türkiye için (orta enlemli doğu batı yönünde daha uzun olduğu için) kullanılması uygundur. Coğrafi KRS’de Türkiye’nin ekvatora uzak olması nedeniyle kuzey güney doğrultusunda ciddi bir sıkışma dikkat çekmektedir. Bu, normal konumlu silindirik projeksiyonun doğası gereği oluşan bir durumdur. Türkiye’nin konumu ve şekli gereği ekvatorundan teğet bir silindirik projeksiyonda gösterilmesi en kötü projeksiyon seçeneklerinden biridir.



Şekil 6: Coğrafi KRS ve Lambert projeksiyonu (bkz. Not)

Koordinatların derece biriminde olması yazılımlarda başka sorunlara da neden olabilir. Aşağıda QGIS yazılımında ortaya çıkan bazı problemler üzerinde durulacaktır.

ASTER, SRTM gibi sayısal yükseklik modellerinin verileri EPSG 4326 KRS sistemindedir. Enlem, boylam derece biriminde ve WGS84 elipsoidinde yatay koordinat sistemi, yükseklikler metre olarak EGM96 (Earth Gravity Model 1996) jeoiti referans alınarak tanımlıdır. Bu tür verilerle yapılan uygulamalarda yatay ve düşey koordinatlar birbirinden bağımsız kullanıldığında sistemin harita yapmaya çok uygun olmaması dışında bir problemle karşılaşmaz. Örneğin eş yükseklik eğrileri oluşturulabilir. Ancak x,y,z koordinatlarının birlikte işleme alındığı durumlarda sorunlar oluşmaya başlar. Bunun bir örneği gölgelendirme uygulamasıdır. Gölgelendirmede her bir pikselin çevresindeki piksellerden yararlanılarak yüzey normali hesaplanır. Yüzey normalinin eğimi ve azimutu ile ışık kaynağına göre konumu belirlenir ve gri ton değeri hesaplanır. EPSG 4326 ile tanımlı bir veri doğrudan işleme alınırsa yanlış bir gölgelendirme oluşur (Şekil 7).



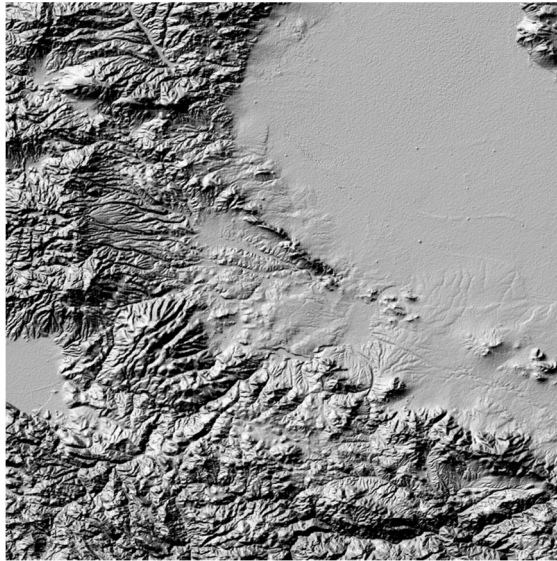
Şekil 7: KRS kaynaklı hatalı gölgelendirme (bkz. Not)

Bu problemin kesin çözümü verileri yatay ve düşey yönde koordinatların metrik olduğu bir KRS'ye dönüştürmektir. Bir başka yaklaşım yazılımlarda sunulan düşey yönde abartma amaçlı olarak kullanılan katsayıyı yüksekliği dereceye dönüştürmek için kullanmaktır. Şekil 8'de aynı dosyanın ikinci çözüm yoluna göre yapılmış gölgelendirmesi görülmektedir.

Bu tip problemlerle havza belirleme, akış birikimi vb. hidrolojik analizlerde de karşılaşılır. Ticari yazılımlarda yatay koordinatların derece olmasından kaynaklı problemlere karşı bazı önlemler alınmış olsa da benzer problemlerle karşılaşılır.

5. Sonuç

Bu çalışmada harita projeksiyonlarının genel olarak yanlış anlaşılma uygun özelliklerine odaklanılarak bir değerlendirme verilmiştir. Uygulamadan iki tipik örnek üzerinde kartografik açıdan eleştiriler ve çözüm önerileri sunulmuştur. Bu kapsamda Merkator projeksiyonu uygulamaları ve EPSG 4326 Koordinat Referans Sistemi tanımının yanlış kullanımları hem matematiksel hem de kartografik bakış açılarından tartışılmıştır. Bu örneklerin de gösterdiği gibi, her türlü harita üretenlerin (ki günümüzde eğitilmiş/egitimsiz herkes) bu başlangıç problemi üzerinde düşünmeleri ve bilgilenecekleri gerekmektedir.



Şekil 8: Şekil 7'nin doğru gölgelendirmesi (bkz. Not)

Not

Şekil 3, 4 ve 5 Bildirici tarafından geliştirilen bir kurum içi yazılım (Earth Flattenner), Şekil 6, 7 ve 8 QGIS yazılımı ile oluşturulmuştur.

Kaynaklar

Battersby S. E., Finn M. P., Usery E. L., 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. doi:10.3138/carto.49.2.2313.

Bildirici İ.Ö. (2019). *Kartografya: Harita Tasarımı Ve Kullanımı İçin Gerekli Bilim Sanat Ve Teknik*. Atlas Akademi Yayınevi, Konya.

Bildirici İ.Ö., Kırtuloğlu O.S. (2016). Web Merkator projeksiyonu. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2), 99-109.

BÖHHBÜY (2018). Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, 26 Haziran 2018 tarih ve 30460 sayılı T.C. Resmi Gazete.

Bugajevskij L.M., Snyder J.P. (1995). *Map projections: a reference manual*. London: Taylor & Francis, CRC Press, doi: 10.1201/b16431.

Canter, F. (2002). *Small-Scale Map Projection Design*. London: Taylor & Francis. CRC Press.

Garfield S. (2012). *Harita Üzerinde- Kaşifleri Dahi Haritacılar ve Hiç Var Olmamış Dağlar*. Barış Emre Alkım (Çev.) Domingo Yayınevi.

Lapaine M., Francula N. (2016). Map projection aspects. *International Journal of Cartography* 2(1), 38–58, doi: 10.1080/23729333.2016.1184554.

Robinson A.H., Morrison J.L., Muehrcke P.C., Kimerling A.J., and Guptill S.C. (1995). *Elements of cartography*, John Wiley and Sons.

Snyder J. P. (1993). *Flattening the earth: two thousand years of map projections*. University of Chicago Press.

Uçar D., Uluğtekin N., (2006). *Kartografyaya giriş*. Yayınlanmamış Ders Notları, İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Kartografya Anabilim Dalı, İstanbul.

URL 1: <https://icaci.org/mission/> [Erişim tarihi: 03 Nisan 2021].

URL 2: OGP Publication 373-7-1 (2012). Using the EPSG Geodetic Parameter Dataset, Geomatics Guidance Note number 7, part 1. <http://www.epsg.org> [Erişim tarihi: 04 Nisan 2021].

URL 3: <https://epsg.io/> [Erişim tarihi: 05 Nisan 2021].

URL 4: <https://projectionwizard.org> [Erişim tarihi: 03 Nisan 2021].

URL 5: <https://thetruesize.com> [Erişim tarihi: 03 Nisan 2021].

URL 6: <https://map-projections.net/> [Erişim tarihi: 03 Nisan 2021].

URL 7: <http://www.flexprojector.com/> [Erişim tarihi: 03 Nisan 2021].

URL 8: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Comparison_of_Mercator_projections.svg [Erişim tarihi: 02 Nisan 2021].