

## CBS UYGULAMALARINDA ALAN DEFORMASYONU

F. Yıldırım, A. Kaya

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Jeodezi Anabilim Dalı, Trabzon, [yfaruk@ktu.edu.tr](mailto:yfaruk@ktu.edu.tr), [akaya@ktu.edu.tr](mailto:akaya@ktu.edu.tr)

### ÖZET

*Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uygulamalarında sonuç verisi olarak alan bilgisi sıkça kullanılmaktadır. Alan hesabında, doğrudan altlıkların koordinatları kullanılması yerine, coğrafi koordinatlar veya alan koruyan projeksiyon koordinatlarıyla da aynı parsel için alan hesaplanırsa, farklılıklar görülecektir. Ülkemizde üretilen haritalar konform projeksiyon prensiplerine göre üretilmiştir. Prensip olarak konform koordinatlar alan bilgisi üretilmesi için çok uygun değildirler. CBS uygulama alanlarının büyüklüğü gözönüne alınır; alan deformasyonunun etkisi daha da önem kazanır. Haritalar üzerinden hesaplanan alan değeri, kesin alan değeri olmayıp bu değere indirgeme getirilmesi gerekir. Alanın kesin değerine ulaşmak için köşe koordinatları coğrafi koordinatlara dönüştürülerek, hesaplama elipsoid yüzeyinde yapılabilir. Elipsoid yüzeyinde alan hesabı oldukça karmaşık işlem adımları gerektirir. Dolayısıyla kesin alan değerinin hesaplanması için, alan koruyan projeksiyonun seçilmesi konform projeksiyona göre daha iyi sonuç vermektedir. Çalışmada, farklı bölge ve büyüklüklerde seçilen parsellerin alanları; UTM koordinatları, coğrafi ve ArcInfo CBS yazılımındaki alan koruyan projeksiyonlar ile hesaplanmıştır. Pratikte, uygulayıcıların bu karmaşık matematik işlemleri dikkate almaksızın, çalışma hassasiyetlerine göre kullanabilecekleri alan büyüklükleri irdelenmiştir. Sonuç olarak, CBS uygulamalarında Albers projeksiyonunun elipsoid alanlara daha iyi yaklaştığı görülmüştür.*

**Anahtar Sözcükler:** CBS, UTM, Alan deformasyonu, Alan koruyan projeksiyon, Albers

### ABSTRACT

#### AREA DEFORMATION IN GIS APPLICATIONS

*Area data is used densely as an output data in GIS applications. This data can be calculated from geographic coordinates, equal-area projection coordinates or base coordinates. However, there are differences between the same parcel area values depending on the coordinates. In Turkey, maps are produced based on conform projection principles. Principally, conform coordinates are not appropriate for calculation of area value. The effect of area deformation could be most significant, when GIS applications cover wide areas. The area values calculated from map are not absolute value. These values have to be reduced. In order to calculate true values of areas, firstly, corner coordinates should be transformed to geographic coordinates and then calculation could be realized on ellipsoid. There are complex processing stages in calculation of areas on ellipsoid. Therefore, instead of conformal projection, choosing equal-area projection has better results for calculation of area values. In the study, the areas selected for various zones and having different sizes were calculated with UTM coordinates, geographic coordinates and equal-area projection in ArcInfo GIS software. The area values, which could be used by applicers without consideration of the complex mathematical procedures in applications, were examined. As a result, Albers projection is found better than the others with respect to ellipsoidal areas in GIS applications.*

**Keywords:** GPS, UTM, Area deformation, Equal-area projection, Albers

## 1.GİRİŞ

CBS’de; arazi kullanımı ve planlamaya yönelik, çevresel, ormancılık ve tarım uygulamalarında sonuç verisi olarak alan bilgisi sıkça kullanılmaktadır. Alan hesabında mevcut parselin köşe koordinatları kullanıldığından, koordinat bilgisinin doğruluğu önem taşımaktadır. CBS’de koordinat bilgisi güncel arazi ölçmelerinden elde edilebileceği gibi; sayısal veri yetersizliğinden dolayı, değişik ölçekli haritalardan, uydu fotoğraflarından veya fotogrametrik amaçlı üretilen haritalardan elde edilmektedir. Bu çalışmada, CBS uygulamalarında, farklı projeksiyon koordinatlarıyla elde edilen alanlarla, elipsoidal alanlar arasındaki modelden gelen farklılıklar irdelenecektir.

Ülkemizde kullanılan harita altlıkları dolayısıyla koordinatlar Değiştirilmiş UTM (3° lik dilim sistemi) ve UTM (6° lik dilim) sistemindedir. UTM sistemi konform olup alan deformasyonu, alanın büyüklüğüne ve başlangıç boylamından olan uzaklığına göre değişir. Dolayısıyla kesin alan değeri için, UTM koordinatları yerine coğrafi koordinatlarla alan hesabına gerek duyulur. Fakat coğrafi koordinatlarla alan hesabı jeodezik amaçlı yazılımlarda mevcut olmayıp, ayrı bir yazılım ve ek hesap yükü getirir. Bunun yerine genellikle alan koruyan projeksiyon seçimine gidilir (Onursal ve Kızılsu, 1999).

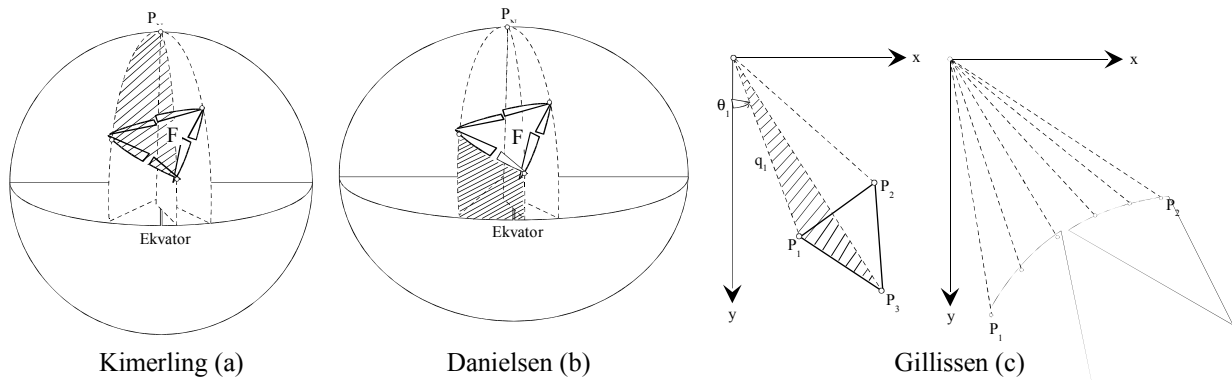
### 1.1. Coğrafi Koordinatlarla Alan Hesabı

Projeksiyonlardaki alan deformasyonun belirlenmesi için elipsoidde coğrafi koordinatlarla kesin alanın bilinmesi gerekir. Elipsoid üzerindeki hesaplanacak alan değeri, parselin kesin alanı olarak karşılaştırma amacıyla da kullanılacaktır. Elipsoidal coğrafi koordinatlarla kapalı bir şeklin alan hesabı için literatürde üç yöntem dikkat çekicidir.

Yöntemlerin birincisi, alanı hesaplanacak parsel kenarlarının kutup noktasıyla oluşturduğu üçgen alanlarının toplanmasıdır. Kenarlar saat ibresi yönünde ilerledikçe boylam farkının negatif veya pozitif durumuna göre üçgen alanlarında işaret değiştireceğinden alanların toplamı parselin alanını verecektir (Şekil 1-a). Bu yöntemde üçgenlerin alan hesabında küresel yüzey kullanılır. Üçgenin iç açılarından ekse(E) bulunur ve  $F=E.M.N$  bağıntısıyla üçgen alanı hesaplanır. Burada M ve N ana eğrilik yarıçaplarıdır. M, N hesabı için gerekli olan enlem değeri parselin en düşük ve en yüksek enleminin ortalaması olarak alınır (Kimerling, 1984). Küresel çözüm olduğundan kenarlar jeodezik eğri değil küredeki büyük daire yayıdır. Bu sebeple kesin elipsoidal çözüm değildir.

İkinci çözüm, alanı hesaplanacak parsel kenarları ve ekvator arasında kalan, ve boylamlarla sınırlanan elipsoidal alanların dikkate alınmasıdır. Diğer yöntemde de olduğu gibi saat ibresi yönünde ilerledikçe boylam farkının işaretiyle değişecek olan jeodezik eğrinin altındaki alanların toplamı parselin alanını verecektir (Şekil 1-b). Jeodezik eğrinin altında kalan alanın hesabı Helmert'in seri ve Sodano'nun kapalı çözümüyle hesaplanabilir. Seri çözüm daha hassas sonuçlar verir (Danielsen, 1989). Bu çözüm yönteminde parsel kenarları jeodezik eğri alındığından elipsoidal alan için kesin çözümdür.

Sonuncu çözümde ise, Albers alan koruyan konik projeksiyon (çift standart paralelli) kullanılarak parselin köşelerinin kutupsal projeksiyon koordinatları ile alan hesabı yapılır. Fakat düzlemdeki parselin kenarları elipsoiddeki jeodezik eğrinin projeksiyonu olmayıp bir doğrudur. Jeodezik eğrinin projeksiyondaki karşılığına göre alan hesaplamak için, jeodezik eğri üzerinde ara noktalar (kirişler) alınarak; nokta nokta düzleme aktarılır. Bu kirişlerin boyu ne kadar kısa alınırsa jeodezik eğri o kadar iyi temsil edilir (Şekil 1-c). Kiriş işlemi için öncelikle kenarın, ilk ve son noktalarının coğrafi koordinatlarından elipsoidal ikinci jeodezik temel problem çözümüyle azimut ve kenar uzunluğu hesaplanır. İlk noktadan itibaren kiriş boyu belirlenerek kenar üzerindeki nokta sayısı belirlenir. Kenar üzerindeki her bir noktanın coğrafi koordinatları bulmak için elipsoidal birinci jeodezik temel problem çözümü kullanılır. Birinci jeodezik temel problem çözümünde kenarın ilk noktasının coğrafi koordinatları ve azimutu sabit olup kiriş boyları değişkendir. Bir sonraki noktada kiriş boyu iki kat arttırılır ve sırasıyla kenar katlanarak devam edilir. Böylece parselin bir kenar üzerinde kiriş yöntemiyle belirlenen ara noktalarının projeksiyon koordinatları hesaplanır ve oluşan üçgenlerin alanlarının toplamı ile, sözkonusu kenar ve harita tepe noktasından oluşan üçgenin kesin alanı hesaplanır. Parselin diğer kenarları için de aynı işlemler tekrarlanarak jeodezik eğri karşılığı elipsoidal alan hesaplanır (Gillissen, 1993). Bu yöntem Danielsen yöntemiyle aynı sonucu vermekte fakat daha karmaşık ve uzun işlem adımları gerektirmektedir. Günümüz hesap imkanları düşünüldüğünde bu zorluk ihmal edilebilir. Sadece işlem zamanı olarak dezavantajlıdır. Danielsen yöntemine göre olumlu tarafı ise parsellerin tüm özel durumlarında sonuç vermesidir.



Şekil 1. Coğrafi koordinatlarla alan hesabında yöntemler

## 1.2. CBS Yazılımlarında Alan Koruyan Projeksiyonlar

Bu çalışmada kullanılan ArcInfo 8.3 CBS yazılımında üç alan koruyan projeksiyon mevcuttur. Bu projeksiyonlar Albers Alan Koruyan Konik (çift standart paralelli), Alan Koruyan Silindirik ve Lambert Azimutal Alan Koruyan Konik (tek standart paralelli) projeksiyonlardır (ESRI, 1994). Projeksiyon denklemleri ve prensipleri için birçok kaynakta ve ArcInfo 8.3 yazılım el kitaplarında detaylı bilgi mevcuttur.

## 2. UYGULAMA

Alan deformasyonunun belirlenmesi için, farklı büyüklükte ve boylamlarda dörtgen şeklinde oluşturulan 33 adet test parselinin köşe noktalarının elipsoid coğrafi koordinatları ve alanları tablo 1’de verilmiştir. Parsellerin alt ve üst enlemleri ortak olup, boylamlar değişkendir. Parsellerin boylam başlangıçları farklı seçilerek üç bölge belirlenmiştir. Her bir bölgede 11 parsel olup bu parsellerin sol alt köşeleri ortak seçilmiştir.

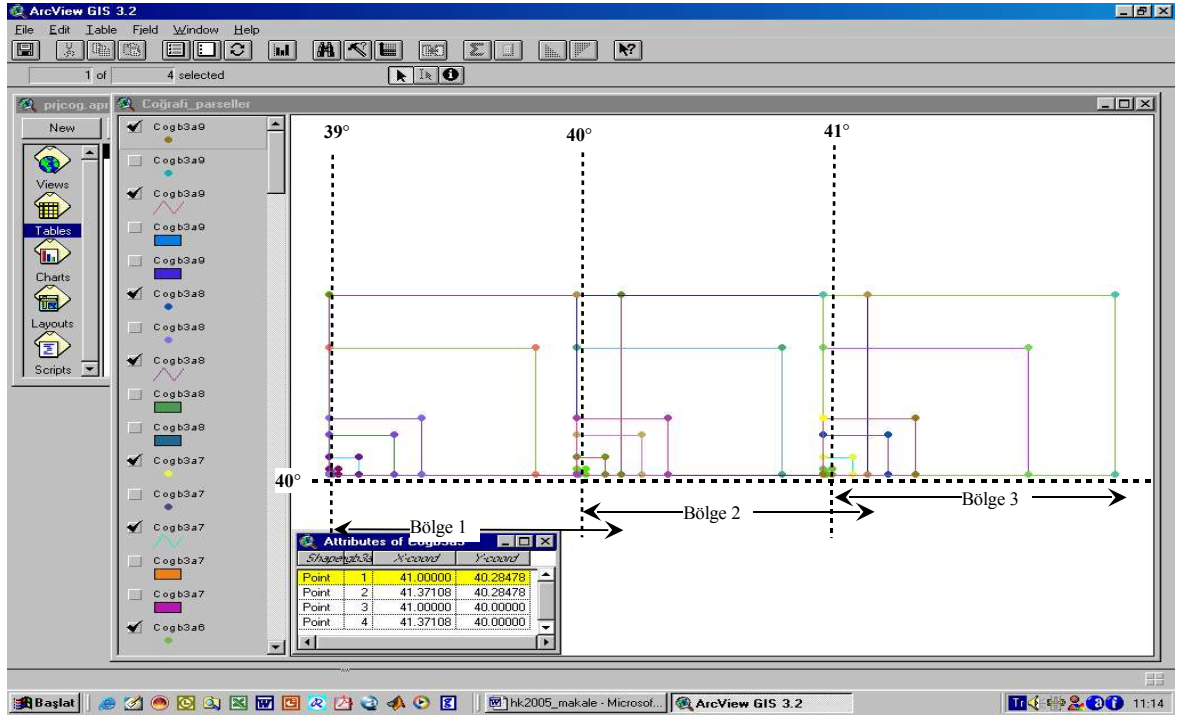
| Parsel No | Köşe No | Bölge 1           |                   | Bölge 2           | Bölge 3           | Alan           |                 |         |
|-----------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|-----------------|---------|
|           |         | B                 | L                 | L                 | L                 | m <sup>2</sup> | Km <sup>2</sup> | hektar  |
| A1        | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 100            | 0.0001          | 0.01    |
|           | 2       | 40° 0' 0.32421"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 0' 0.32421"   | 39° 0' 0.42156"   | 40° 0' 0.42156"   | 41° 0' 0.42156"   |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.42156"   | 40° 0' 0.42156"   | 41° 0' 0.42156"   |                |                 |         |
| A2        | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 1000           | 0.001           | 0.1     |
|           | 2       | 40° 0' 1.02525"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 0' 1.02525"   | 39° 0' 1.33308"   | 40° 0' 1.33308"   | 41° 0' 1.33308"   |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 1.33308"   | 40° 0' 1.33308"   | 41° 0' 1.33308"   |                |                 |         |
| A3        | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 10000          | 0.01            | 1       |
|           | 2       | 40° 0' 3.24214"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 0' 3.24214"   | 39° 0' 4.21560"   | 40° 0' 4.21560"   | 41° 0' 4.21560"   |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 4.21560"   | 40° 0' 4.21560"   | 41° 0' 4.21560"   |                |                 |         |
| A4        | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 100000         | 0.1             | 10      |
|           | 2       | 40° 0' 10.25260"  | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 0' 10.25260"  | 39° 0' 13.33101"  | 40° 0' 13.33101"  | 41° 0' 13.33101"  |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 13.33101"  | 40° 0' 13.33101"  | 41° 0' 13.33101"  |                |                 |         |
| A5        | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 1000000        | 1               | 100     |
|           | 2       | 40° 0' 32.42137"  | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 0' 32.42137"  | 39° 0' 42.15846"  | 40° 0' 42.15846"  | 41° 0' 42.15846"  |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 42.15846"  | 40° 0' 42.15846"  | 41° 0' 42.15846"  |                |                 |         |
| A6        | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 10000000       | 10              | 1000    |
|           | 2       | 40° 1' 42.52519"  | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 1' 42.52519"  | 39° 2' 13.33572"  | 40° 2' 13.33572"  | 41° 2' 13.33572"  |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 2' 13.33572"  | 40° 2' 13.33572"  | 41° 2' 13.33572"  |                |                 |         |
| A7        | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 100000000      | 100             | 10000   |
|           | 2       | 40° 5' 24.21106"  | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 5' 24.21106"  | 39° 7' 1.83466"   | 40° 7' 1.83466"   | 41° 7' 1.83466"   |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 7' 1.83466"   | 40° 7' 1.83466"   | 41° 7' 1.83466"   |                |                 |         |
| A8        | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 500000000      | 500             | 50000   |
|           | 2       | 40° 12' 4.94793"  | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 12' 4.94793"  | 39° 15' 44.02376" | 40° 15' 44.02376" | 41° 15' 44.02376" |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 15' 44.02376" | 40° 15' 44.02376" | 41° 15' 44.02376" |                |                 |         |
| A9        | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 1000000000     | 1000            | 100000  |
|           | 2       | 40° 17' 5.21839"  | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 17' 5.21839"  | 39° 22' 15.87541" | 40° 22' 15.87541" | 41° 22' 15.87541" |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 22' 15.87541" | 40° 22' 15.87541" | 41° 22' 15.87541" |                |                 |         |
| A10       | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 5000000000     | 5000            | 500000  |
|           | 2       | 40° 38' 12.29124" | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 38' 12.29124" | 39° 49' 54.99890" | 40° 49' 54.99890" | 41° 49' 54.99890" |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 49' 54.99890" | 40° 49' 54.99890" | 41° 49' 54.99890" |                |                 |         |
| A11       | 1       | 40° 0' 0.00000"   | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   | 10000000000    | 10000           | 1000000 |
|           | 2       | 40° 54' 1.54315"  | 39° 0' 0.00000"   | 40° 0' 0.00000"   | 41° 0' 0.00000"   |                |                 |         |
|           | 3       | 40° 54' 1.54315"  | 40° 10' 44.10100" | 41° 10' 44.10100" | 42° 10' 44.10100" |                |                 |         |
|           | 4       | 40° 0' 0.00000"   | 40° 10' 44.10100" | 41° 10' 44.10100" | 42° 10' 44.10100" |                |                 |         |

**Tablo 1:** Test parsellerinin köşe coğrafi koordinatları ve alanlar

Coğrafi koordinatlarla köşe noktaları belirlenen parsellerin kesin alanları, Albers alan koruyan projeksiyonunda giriş yöntemi ile desteklenerek (Gillissen yöntemi) hesaplanmıştır.

Yapılan sayısal uygulama iki amaca yöneliktir. Birincisi; seçilen parsellerin farklı projeksiyon sistemlerindeki alanları hesaplanarak kesin alan değeriyle karşılaştırılmıştır. Bu projeksiyon sistemleri de iki gruba ayrılmıştır. İlk grup, ülkemiz harita altlıkları koordinat sistemlerini oluşturan UTM ve Değiştirilmiş UTM sistemleridir. Diğer grup ise CBS uygulamalarında kullanılan yazılımlarda mevcut olan; Albers Alan Koruyan Konik, Alan Koruyan Silindirik ve Lambert Azimutal Alan Koruyan Konik projeksiyonlardır. Böylece seçilen projeksiyon sistemlerinin, farklı parsel büyüklüğündeki alanlara etkisi incelenmiştir. İkinci amaç ise; Tablo 1’de görüldüğü gibi farklı bölgelerdeki parseller sırasıyla 39°, 40° ve 41° boylam başlangıcında seçilerek, boylamdan uzaklaşmanın aynı büyüklükteki alanlara etkisinin araştırılmasıdır.

Sayısal uygulamada, parseller elipsoid coğrafi koordinatlarla ArcInfo 8.3 yazılımında Toolbox kullanılarak oluşturulmuş ve parsel bilgilerinin sorgulanması için ArcView GIS 3.2 yazılımına aktarılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Coğrafi koordinatlarla oluşturulan parseller

Elipsoid coğrafi koordinatlarla tanımlanan parseller, tekrar ArcInfo 8.3 yazılımında Toolbox kullanılarak Değiştirilmiş UTM, UTM, Albers Alan Koruyan Konik (çift standart paralelli), Alan Koruyan Silindirik ve Lambert Azimutal Alan Koruyan Konik (tek standart paralelli) projeksiyonlarına dönüştürülmüştür. Coğrafi koordinatlardan projeksiyonlara dönüşüm sırasında parsel büyüklüklerinin sınırları dikkate alınarak belirlenen koordinat başlangıçları her bir projeksiyon için Tablo 2’de verilmiştir. Tüm projeksiyonlarda referans elipsoidi olarak Hayford (International) Elipsoidi kullanılmıştır.

| Projeksiyon                 | Bölge | $L_0$ | $B_0$ | $B_1$ | $B_2$ | $R_0=(M_0N_0)^{(1/2)}$ |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|
| Değiştirilmiş UTM           | 1     | 39°   | -     | -     | -     | -                      |
|                             | 2     |       |       |       |       |                        |
|                             | 3     | 42°   |       |       |       |                        |
| UTM                         | 1     | 39°   | -     | -     | -     | -                      |
|                             | 2     |       |       |       |       |                        |
|                             | 3     |       |       |       |       |                        |
| Albers Alan Koruyan Konik   | 1     | 39°   | 40°   | 40°   | 42°   | -                      |
|                             | 2     |       |       |       |       |                        |
|                             | 3     |       |       |       |       |                        |
| Alan Koruyan Silindirik     | 1     | 39°   | 40°   | -     | -     | 6374618.375            |
|                             | 2     |       |       |       |       |                        |
|                             | 3     |       |       |       |       |                        |
| Azimutal Alan Koruyan Konik | 1     | 39°   | 40°   | -     | -     | 6374618.375            |
|                             | 2     |       |       |       |       |                        |
|                             | 3     |       |       |       |       |                        |

Tablo 2: Projeksiyon koordinat başlangıçları

Projeksiyon dönüşümleri yapıldıktan sonra parsellerin her bir projeksiyondaki koordinat ve alan bilgilerinin sorgulanması için veriler ArcView yazılımına aktarılmıştır. Buradan alınan parsel alan değerleri tablo 3 verilmiştir.

Hesaplanan alan değerlerinin daha iyi yorumlanabilmesi için, Tablo 1 de verilen kesin alan değerleriyle tablo 3 deki değerlerin farkı alınarak Tablo 4’deki değerler elde edilmiştir.

| Bölge | Parsel | Değiştirilmiş UTM | UTM             | Albers Konik   | Silindirik     | Lambert Azimutal Konik |
|-------|--------|-------------------|-----------------|----------------|----------------|------------------------|
| 1     | A1     | 100.000           | 99.920          | 100.000        | 99.886         | 100.000                |
|       | A2     | 1000.000          | 999.200         | 1000.000       | 998.864        | 1000.000               |
|       | A3     | 10000.000         | 9992.002        | 10000.000      | 9988.640       | 9999.999               |
|       | A4     | 100000.000        | 99920.016       | 100000.000     | 99886.381      | 99999.967              |
|       | A5     | 1000000.006       | 999200.166      | 999999.998     | 998863.096     | 999998.953             |
|       | A6     | 10000000.617      | 9992002.216     | 9999999.783    | 9988608.492    | 9999966.693            |
|       | A7     | 100000061.539     | 99920077.490    | 99999978.354   | 99885379.742   | 99998925.690           |
|       | A8     | 500001538.133     | 499601616.903   | 499999460.481  | 499420627.264  | 499987564.267          |
|       | A9     | 1000006152.413    | 999206307.492   | 999997846.797  | 998832034.095  | 999963928.073          |
|       | A10    | 5000153823.376    | 4996154500.342  | 4999946685.380 | 4993974569.828 | 4999554472.640         |
|       | A11    | 10000615387.696   | 9992616495.485  | 9999788290.864 | 9987691497.749 | 9998650825.945         |
| 2     | A1     | 100.018           | 99.938          | 100.000        | 99.886         | 100.000                |
|       | A2     | 1000.180          | 999.380         | 1000.000       | 998.864        | 1000.000               |
|       | A3     | 10001.797         | 9993.797        | 10000.000      | 9988.640       | 9999.999               |
|       | A4     | 100018.014        | 99938.015       | 100000.000     | 99886.381      | 99999.967              |
|       | A5     | 1000181.565       | 999381.587      | 999999.998     | 998863.096     | 999998.953             |
|       | A6     | 10001861.476      | 9993861.587     | 10000000.134   | 9988608.492    | 9999966.693            |
|       | A7     | 100020086.311     | 99940086.246    | 99999978.354   | 99885379.742   | 99998925.687           |
|       | A8     | 500114477.710     | 499714466.146   | 499999460.481  | 499420627.264  | 499987564.184          |
|       | A9     | 1000251210.201    | 999451169.273   | 999997846.797  | 998832034.095  | 999963927.712          |
|       | A10    | 5001782515.342    | 4997781889.615  | 4999946685.380 | 4993974569.828 | 4999554460.530         |
|       | A11    | 10004474635.117   | 9996472656.125  | 9999788290.864 | 9987691497.749 | 9998650768.069         |
| 3     | A1     | 100.018           | 99.992          | 100.000        | 99.886         | 100.000                |
|       | A2     | 1000.179          | 999.918         | 1000.000       | 998.864        | 1000.000               |
|       | A3     | 10001.793         | 9999.181        | 10000.000      | 9988.640       | 9999.999               |
|       | A4     | 100017.881        | 99991.897       | 100000.000     | 99886.381      | 99999.967              |
|       | A5     | 1000177.361       | 999921.787      | 999999.998     | 998863.096     | 999998.953             |
|       | A6     | 10001728.219      | 9999307.210     | 9999999.783    | 9988608.492    | 9999966.693            |
|       | A7     | 100015885.385     | 99995933.370    | 99999978.354   | 99885379.742   | 99998925.679           |
|       | A8     | 500067548.530     | 500006225.740   | 499999460.481  | 499420627.264  | 499987563.970          |
|       | A9     | 1000118555.977    | 1000053430.443  | 999997846.797  | 998832034.095  | 999963926.826          |
|       | A10    | 5000303214.916    | 5001187410.646  | 4999946685.380 | 4993974569.828 | 4999554435.196         |
|       | A11    | 10000298549.841   | 10003871845.453 | 9999788290.864 | 9987691497.749 | 9998650657.059         |

**Tablo 3:** Projeksiyonlarda hesaplanan alan değerleri

Tablo 4' e dikkat edilirse parseller büyüdükçe tüm projeksiyonlarda alan deformasyonu beklendiği gibi artmaktadır. Konform projeksiyonlarda (Değiştirilmiş UTM, UTM) alan deformasyonu; başlangıç boylamından uzaklaştıkça artmakta, buna karşılık Albers ve Silindirik alan koruyan projeksiyonlarda sabit kalmaktadır.

Konform projeksiyonlar karşılaştırıldığında, Değiştirilmiş UTM koordinatlarıyla hesaplanan parsellerde alan deformasyonu UTM sistemine göre çok düşüktür. Değiştirilmiş UTM sisteminde; başlangıç boylamına en yakın 1. bölgede 1000 hektara kadar olan parsellerde alan deformasyonu 1 m<sup>2</sup>'nin altındadır. UTM koordinatlarıyla hesaplanan alanlarda deformasyon, başlangıç boylamından uzaklaşan 2. ve 3. bölgede, yakın olan 1. bölgeye göre küçülmektedir. Bunun nedeni m<sub>0</sub> ölçek faktörünün koordinatlara etkisidir. Şayet ölçek faktörünün etkisi olmadan Gauss-Krüger düzlem koordinatlarıyla aynı parsellerde alan hesabı yapılırsa, boylamdan uzaklaştıkça alan deformasyonun arttığı gözlenir.

Alan koruyan projeksiyonlar karşılaştırıldığında, Albers projeksiyonun alan deformasyonunun daha küçük olduğu gözlenmiştir. Albers projeksiyonda tüm bölgelerde 1000 hektara kadar olan parsellerde alan deformasyonu 1 m<sup>2</sup>'nin altındadır. Bir sonraki kriter olarak 50000 Hektar düşünülürse, alan farkı 1 dönümün altındadır (539 m<sup>2</sup>). Lambert Azimutal Konik projeksiyonda tüm bölgelerde 10 hektara kadar olan parsellerde alan deformasyonu 1 m<sup>2</sup>'nin altındadır.

Buradaki projeksiyonlar içinde Albers projeksiyonunun 1000 hektar büyüklüğündeki parseller için m<sup>2</sup> doğruluğunda kullanılabilir olduğu gözlenmiştir. Bu alandan büyük parseller için, m<sup>2</sup> doğruluğunda alan hesabı yapılmak istenirse; elipsoid coğrafi koordinatlarla alan hesabının yapılması önerilir.

|  |  |                 |                           |
|--|--|-----------------|---------------------------|
|  |  | KESİN ALAN (KA) | FARKLAR (m <sup>2</sup> ) |
|--|--|-----------------|---------------------------|

| Bölge | Parsel | M <sup>2</sup> | dekar (dönüm) | hektar       | km <sup>2</sup> | KA-DUTM     | KA-UTM      | KA-Albers  | KA-Cylindir  | KA-Azimuthal |
|-------|--------|----------------|---------------|--------------|-----------------|-------------|-------------|------------|--------------|--------------|
| 1     | A1     | 100            | 0.100         | 0.0100       | 0.0001          | 0.000       | 0.080       | 0.000      | 0.114        | 0.000        |
|       | A2     | 1000           | 1.000         | 0.1000       | 0.0010          | 0.000       | 0.800       | 0.000      | 1.136        | 0.000        |
|       | A3     | 10000          | 10.000        | 1.0000       | 0.0100          | 0.000       | 7.998       | 0.000      | 11.360       | 0.001        |
|       | A4     | 100000         | 100.000       | 10.0000      | 0.1000          | 0.000       | 79.984      | 0.000      | 113.619      | 0.033        |
|       | A5     | 1000000        | 1000.000      | 100.0000     | 1.0000          | 0.006       | 799.834     | 0.002      | 1136.904     | 1.047        |
|       | A6     | 10000000       | 10000.000     | 1000.0000    | 10.0000         | 0.617       | 7997.784    | 0.217      | 11391.508    | 33.307       |
|       | A7     | 100000000      | 100000.000    | 10000.0000   | 100.0000        | 61.539      | 79922.510   | 21.646     | 114620.258   | 1074.310     |
|       | A8     | 500000000      | 500000.000    | 50000.0000   | 500.0000        | 1538.133    | 398383.097  | 539.519    | 579372.736   | 12435.733    |
|       | A9     | 1000000000     | 1000000.000   | 100000.0000  | 1000.0000       | 6152.413    | 793692.508  | 2153.203   | 1167965.905  | 36071.927    |
|       | A10    | 5000000000     | 5000000.000   | 500000.0000  | 5000.0000       | 153823.376  | 3845499.658 | 53314.620  | 6025430.172  | 445527.360   |
|       | A11    | 10000000000    | 10000000.000  | 1000000.0000 | 10000.0000      | 615387.696  | 7383504.515 | 211709.136 | 12308502.251 | 1349174.055  |
| 2     | A1     | 100            | 0.100         | 0.0100       | 0.0001          | 0.018       | 0.062       | 0.000      | 0.114        | 0.000        |
|       | A2     | 1000           | 1.000         | 0.1000       | 0.0010          | 0.180       | 0.620       | 0.000      | 1.136        | 0.000        |
|       | A3     | 10000          | 10.000        | 1.0000       | 0.0100          | 1.797       | 6.203       | 0.000      | 11.360       | 0.001        |
|       | A4     | 100000         | 100.000       | 10.0000      | 0.1000          | 18.014      | 61.985      | 0.000      | 113.619      | 0.033        |
|       | A5     | 1000000        | 1000.000      | 100.0000     | 1.0000          | 181.565     | 618.413     | 0.002      | 1136.904     | 1.047        |
|       | A6     | 10000000       | 10000.000     | 1000.0000    | 10.0000         | 1861.476    | 6138.413    | 0.134      | 11391.157    | 32.956       |
|       | A7     | 100000000      | 100000.000    | 10000.0000   | 100.0000        | 20086.311   | 59913.754   | 21.646     | 114620.258   | 1074.313     |
|       | A8     | 500000000      | 500000.000    | 50000.0000   | 500.0000        | 114477.710  | 285533.854  | 539.519    | 579372.736   | 12435.816    |
|       | A9     | 1000000000     | 1000000.000   | 100000.0000  | 1000.0000       | 251210.201  | 548830.727  | 2153.203   | 1167965.905  | 36072.288    |
|       | A10    | 5000000000     | 5000000.000   | 500000.0000  | 5000.0000       | 1782515.342 | 2218110.385 | 53314.620  | 6025430.172  | 445539.470   |
|       | A11    | 10000000000    | 10000000.000  | 1000000.0000 | 10000.0000      | 4474635.117 | 3527343.875 | 211709.136 | 12308502.251 | 1349231.931  |
| 3     | A1     | 100            | 0.100         | 0.0100       | 0.0001          | 0.018       | 0.008       | 0.000      | 0.114        | 0.000        |
|       | A2     | 1000           | 1.000         | 0.1000       | 0.0010          | 0.179       | 0.082       | 0.000      | 1.136        | 0.000        |
|       | A3     | 10000          | 10.000        | 1.0000       | 0.0100          | 1.793       | 0.819       | 0.000      | 11.360       | 0.001        |
|       | A4     | 100000         | 100.000       | 10.0000      | 0.1000          | 17.881      | 8.103       | 0.000      | 113.619      | 0.033        |
|       | A5     | 1000000        | 1000.000      | 100.0000     | 1.0000          | 177.361     | 78.213      | 0.002      | 1136.904     | 1.047        |
|       | A6     | 10000000       | 10000.000     | 1000.0000    | 10.0000         | 1728.219    | 692.790     | 0.217      | 11391.508    | 33.307       |
|       | A7     | 100000000      | 100000.000    | 10000.0000   | 100.0000        | 15885.385   | 4066.630    | 21.646     | 114620.258   | 1074.321     |
|       | A8     | 500000000      | 500000.000    | 50000.0000   | 500.0000        | 67548.530   | 6225.740    | 539.519    | 579372.736   | 12436.030    |
|       | A9     | 1000000000     | 1000000.000   | 100000.0000  | 1000.0000       | 118555.977  | 53430.443   | 2153.203   | 1167965.905  | 36073.174    |
|       | A10    | 5000000000     | 5000000.000   | 500000.0000  | 5000.0000       | 303214.916  | 1187410.646 | 53314.620  | 6025430.172  | 445564.804   |
|       | A11    | 10000000000    | 10000000.000  | 1000000.0000 | 10000.0000      | 298549.841  | 3871845.453 | 211709.136 | 12308502.251 | 1349342.941  |

**Tablo 4:** Kesin alan ve projeksiyondaki alan farkları

### 3. SONUÇLAR

Alan koruyan projeksiyonlarda boylamdan uzaklaşmanın, konform projeksiyonlardaki gibi alan deformasyonuna etkisi yoktur.

Alan hassasiyeti için, Değiştirilmiş UTM ve UTM arasında bir tercih yapılması durumunda Değiştirilmiş UTM koordinatları kullanılmalıdır. UTM sisteminde, koordinatlardaki  $m_0$  ölçek faktörünü alan deformasyonunu etkilemektedir.

Değiştirilmiş UTM koordinatlarıyla alan hesabında; başlangıç boylamına yakın bölgelerde(1. bölge) 1000 hektara kadar olan parsel büyüklükleri için alanın elipsoidal alandan farkı 1 m<sup>2</sup> nin altındadır.

İrdelenen projeksiyonlar için alan deformasyonu karşılaştırıldığında, Albers projeksiyonunun boylama bağlı olmaksızın 1000 hektar büyüklüğündeki parsellerde m<sup>2</sup> doğruluğunda kullanılabilir olduğu gözlenmiştir. 50000 hektara kadar da alan farkı yarım dönüm ve altında olmak üzere yine Albers projeksiyonu önerilebilir. CBS yazılımlarında UTM veya Değiştirilmiş UTM koordinatlarından Albers projeksiyonuna dönüşüm imkanı vardır. 1000 hektardan büyük alanlar için m<sup>2</sup> doğruluğunda alan hesabı yapılmak istenirse; elipsoid yüzeyinde alan hesabı yapılması gerekir. Elipsoid yüzeyinde alan hesabı için çalışmamızda kullanılan Gillissen yöntemi önerilir.

Alan hassasiyeti gerektiren CBS uygulamalarında, Değiştirilmiş UTM sistemi dilim esasına dayandığından bir dilimi aşan projelerde Çift Standart Paralelli Alan Koruyan Albers Konik Projeksiyonun tercih edilmesi, projeksiyon koordinatları ile hesaplanan alanın elipsoidal alana yakınlığı ve koordinat bütünlüğü açısından önerilir.

CBS uygulamalarında jeodezik hassasiyetle çalışma prensibinin yaygınlaşması için, kullanıcıların alan hesabı gerektiren projelerinde projeksiyon seçimine dikkat edilmelidir. Bu çalışmada alan hesabında kullanılan koordinatların; sayısal veri yetersizliğinden dolayı, üretilmesi aşamasındaki konum ve ölçek doğruluğundan gelen

hatalar gözardı edilmiştir. CBS’de büyük alanlı uygulamalarda koordinatların elde edilmesinden kaynaklanan hataların da etkisi düşünülürse doğruluk daha da azalacaktır.

CBS uygulamalarında yüksek düzeyde doğruluk ve hassasiyet gerektiren verileri tümüyle elde etmek bugün için zordur. Üretilcek bilgiden beklenen doğruluk ve hassasiyetin ne olduğu önceden ortaya konulmalıdır. Kullanıcının bilgiden olan beklentisi bu bakımdan önemlidir. Bu beklentiye bağlı olarak verilerin elde edilmesi kullanıcı açısından öncelikli işler arasındadır. Dolayısıyla alan bilgisinin önemli olduğu CBS uygulamalarında kullanıcılar, parsel köşe noktalarının koordinatlarının olabildiğince orijinal verilerden oluşmasına özen göstermelidir.

Uygulama örnekleri, düzgün dörtgen şekillerin dışında da herhangi konveks(dışbükey) poligonlarda denenmiştir. Alanı oluşturan noktaların konkav(içbükey) şekil oluşturmaları durumunda, algoritmalarda problemler vardır. Bu durum ayrıca incelenmelidir. Önerilecek bir çözüm yolu, alanı konveks şekillere parçalamak olabilir.

## TEŞEKKÜR

Çalışmanın uygulama kısmı, KTÜ MMF Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü GISLab’da gerçekleştirilmiştir. Destekleri için, Sayın Prof. Dr. Tahsin Yomralıoğlu ve Araş. Gör. H. İbrahim İnan’a teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

**Danielsen J.**, 1989. The Area Under The Geodesic, Survey Review, 232 (30), 61-66.

**ESRI**, 1994. Map Projections Georeferencing Spatial Data.

**Gillissen I.**, 1993. Area Computation of A Polygon on An Ellipsoid, Survey Review, 248 (32), 92-98.

**Kimerling J. A.**, 1984. Area Computation from Geodetic Coordinates on the Spheroid, Surveying and Mapping, Vol. 44, No.4, 343-351.

**Onursal G., Kızılsu Z.**, 1999. Simple Approximation of Area Determination on Mercator Chart of Sphere, Journal of Surveying Engineering, November, 203-210.