

**DİLİM ESASINA DAYALI UTM SİSTEMİ İÇİN ALTERNATİF ÇÖZÜM  
YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ**  
(INVESTIGATION ALTERNATIVE METHODS FOR ZONE BASED UTM SYSTEM)

**Faruk YILDIRIM, Ahmet KAYA**  
KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Trabzon  
yfaruk@ktu.edu.tr

**ÖZET**

Gelişen GPS ve uzaktan algılama tekniklerine paralel olarak artan bölgesel ve ulusal CBS uygulamalarında ve tek UTM dilimini aşan mühendislik projelerinde hızlı bir artış görülmektedir. Bu uygulamalarda, koordinat sisteminin ortak olması bir zorunluluktur. Ülkemiz için UTM sisteminde dört, değiştirilmiş UTM sisteminde ise yedi farklı koordinat başlangıcı vardır. UTM sistemi; ülkemiz gibi doğu-batı yönünde uzanan bölgeler için bu tür uygulamalarda koordinat birliğinin sağlanması açısından yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada; UTM sistemi yerine, dilim genişliği arttırılmış Gauss-Krüger tasvirinin Türkiye coğrafi sınırları için geliştirilen Türkiye UTM (TUTM) sistemi, elipsoidin düzleme küre üzerinden konform çift tasviri ve Lambert Konform Konik (LKK) tasvir yöntemleri incelenmiştir. Türkiye coğrafi sınırları için alternatif yöntemler, farklı bölgelerde ve uzunlukta belirlenen kenarlarla karşılaştırılmıştır. Bu kenarların düzlem semt ve uzunlukları tasvir denklemleriyle düzlemde; elipsoiddeki azimut ve uzunlukları ise elipsoid üzerinde jeodezik temel problem çözümüyle hesaplanmıştır. Her bir yöntemin indirgeme formülleri, elipsoid-düzlem doğrultu ve uzunluk farkları ile karşılaştırılarak irdelenmiştir. İrdemeler sonucunda; mühendislik projeleri için TUTM sisteminin, yüksek duyarlık gerektirmeyen CBS uygulamalarında ise çift standart paralelli LKK tasvir yönteminin uygun olacağı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** UTM, TUTM, Konform Çift Tasvir, Lambert Konform Konik, Doğrultu ve uzunluk indirgemesi.

**ABSTRACT**

Recently, as a result of growing GPS and Remote Sensing techniques, the studies exceeding a UTM zone are increasing in regional and national GIS studies and engineering projects covering wide areas. In such applications, common coordinate system for the project area is among compalsories. In Turkey, there are four coordinate zones in UTM system and seven coordinate zones in modified UTM system. With respect to the provision of a common coordinate system, UTM system is not adequate for the countries like Turkey extending east-west direction. In this study; instead of UTM system, the TUTM system developed for geographical borders of Turkey by extending zone-width of Gauss-Krüger mapping, double conformal mapping from ellipsoid to sphere and then from sphere to plane and Lambert Conformal Conic (LCC) mapping methods were evaluated The alternative methods for geographical borders of Turkey were compared using the distances and azimuths determined in different regions and lengths. While plane azimuths and distances were calculated with mapping equations, ellipsoidal azimuth and distances were calculated via the geodetic problems. The reduction formulas for each method

compared with differences of ellipsoidal-plane direction and distance, and were researched. As a result of evaluations, it is concluded that while TUTM system is convenient for engineering projects, double standard parallel LCC mapping is convenient for GIS applications in which high accuracy is not important.

**Key Words:** UTM, TUTM, Conform Double Mapping, Lambert Conformal Conic, Direction and distance reduction.

## 1. GİRİŞ

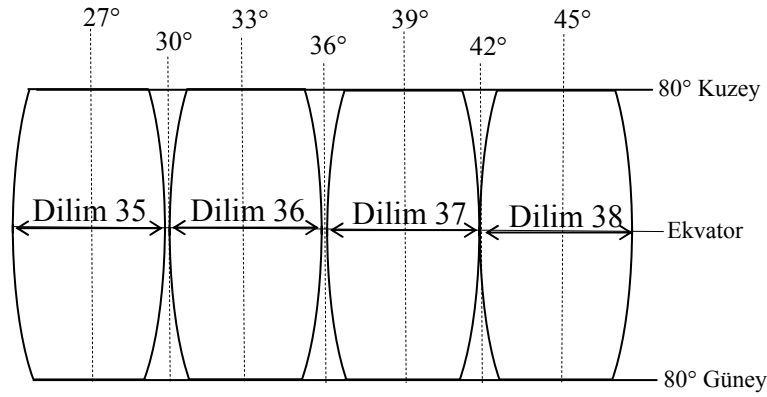
Bilgisayar ve uydu teknolojisinde özellikle 1990'lı ve sonraki yıllarda oluşan gelişmeler sonucu, Global Konumlama Sistemi (GPS), Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Sayısal Arazi Modelleme, Bilgisayar Destekli Çizim (CAD) sistemleri, Uzaktan Algılama (UA) teknikleri hızla gelişmiş ve bu alanlarda geliştirilen yazılım ve uygulamalar, günümüzdeki haritacılık ilkelerinin genel anlamda yeniden tanımlanmasına yol açmıştır. Tüm bu uygulamaların kullanılabilir olması, ortak bir konum bilgisini gerektirmektedir. Bu sistemlerle yapılan bölgesel uygulamalarda; projeksiyon veya tasvir yöntemleriyle oluşturulan jeodezik koordinat sistemlerinin, bu teknolojilerdeki gelişmelerin belirlediği standartlara uyma zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir (Pearson, 1990; McDowell, vd., 1994).

Dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizde de, CBS, GPS ve UA teknolojilerinin kullanıldığı büyük alanlı ulusal, bölgesel, kent, belediye ve kamu kurumları amaçlarına yönelik konumsal bilgi sistemleri uygulamaları yaygın hale gelmektedir. Ayrıca ülkemizde, duyarlık gerektiren büyük mühendislik projeleri de devam etmektedir. Tüm bu uygulamalar konuma, dolayısıyla da koordinat bilgisine dayanmaktadır. CBS ve mühendislik çalışmalarının sağlıklı, doğru, güvenilir ve sürdürülebilir olması için koordinat altlığı çok önemlidir.

Mühendislik projeleri ve CBS uygulamalarında koordinat altlığının ortak olması, kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlar. Bu tür uygulamaların, bilgisayar ortamında görsel ve sayısal olarak yapıldığı düşünülürse ortak koordinat sisteminin önemi daha da artmaktadır. Koordinat sisteminin ortak olmamasının getireceği olumsuzluk, projenin birden fazla koordinat sisteminde saklanması ve çakışma bölgelerindeki dönüşüm hesabı yüküdür.

Ortak koordinat sistemlerinde çalışmak için, elipsoidal coğrafi (B,L) ve ortak dik koordinatlar (X,Y,Z) akla gelebilir. Fakat bu koordinat sistemleriyle hesap yükü de düzlem geometrisinin sadeliğinden yoksundur. Bu nedenlerle, çizim ve hesap için mutlaka projeksiyon veya tasvir düzlem koordinatlarına geçiş yapılmalıdır. Coğrafi ve ortak dik koordinatların kullanımı, CBS yazılımları ve veritabanı tasarımcıları açısından tercih edilmeyen bir durumdur. Veritabanında hem bu koordinatların, hem de çizim ve hesap için düzlem koordinatların tutulması, aynı noktaya ait iki koordinat bilgisinin depolanmasına yol açmaktadır. Böylece veri yükü artmaktadır. Ayrıca, hesap yükü olarak da dönüşüm hesapları ayrı bellek ve işlem yükünü beraberinde getirmektedir.

Türkiye’de; ülke nirengi ağına dayalı 1/25000 ölçekli temel haritalar 6°, büyük ölçekli kadastral ve 1/5000 ölçekli Standart Topografik ve Standart Topografik Kadastral haritalar da 3° dilim genişlikli Gauss-Krüger sisteminde üretilmiştir. Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliğine göre; yatay kontrol noktalarının koordinatları, ülke nirengi sisteminin Gauss–Krüger projeksiyonunda üç derecelik dilim esasına göre belirlenir (BÖHYY 1999). Türkiye için; 3° lik dilim genişlikli Gauss-Krüger tasvirinin (Değiştirilmiş UTM veya kısaltılmış olarak DUTM) dilim orta meridyenleri 27°, 30°, 33°, 36°, 39°, 42° ve 45° iken, 6° lik dilim genişlikli Gauss-Krüger tasvirinin (UTM) dilim orta meridyenleri 27°, 33°, 39° ve 45° dir. UTM sistemi için ülkemizde toplam dört dilim söz konusudur ve dilim numaraları (DN) 35, 36, 37 ve 38 dir (Şekil 1). Dilim numaraları karışıklığa sebebiyet verilmemesi için, UTM koordinatlarında sağa değerin önüne eklenir



Şekil 1. Türkiye için UTM dilim sistemi.

Mühendislik ve CBS uygulamalarında projenin komşu dilimlerdeki fazla kısmı 0.5° veya 1° lik bindirme bölgesi içindeyse, dilim dönüşümü yapılabilir. Şayet uygulama alanı komşu dilimde bindirme bölgesinin dışına taşıyorsa, dilim dönüşümü yapılmaz. Bu durumda, projede tek bir koordinat sisteminde çalışmak mümkün olmaz ve UTM sisteminden başka sistemlere geçiş yapılması gerekir. Dönüşüm ve farklı sistemlere geçiş işlemi de yine kullanıcıların bilgi noksanlığından dolayı, projenin uygulanmasında hatalara ve zaman kaybına neden olmaktadır. Dolayısıyla, tek UTM dilimini aşan Mühendislik ve CBS uygulamaları için mevcut UTM sistemi yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı, bu sistemden başka tasvir yöntemlerine geçiş işlemi yapılmalıdır (Yıldırım, vd., 2003).

UTM ve DUTM koordinatlarıyla üretilen haritalardan alınan koordinatlar, sağa ve yukarı değerleridir. Bu değerlerden Gauss-Krüger düzlem koordinatlarına (x,y) geçilir ve hesaplamalar bu koordinat çiftiyle yapılır. Unutulmaması gereken önemli bir husus; (x,y) ile hesaplanan uzunluk ve açı değerlerinin, düzlem değerleri olduğudur. Referans elipsoidindeki karşılıklarını elde etmek için, bu değerlere indirgeme getirilmesi gerekir. Mühendislik ve CBS uygulamalarında, uzunluk ve doğrultu indirgeme miktarlarının sonucu ne kadar etkilediği de ayrıca irdelenmelidir.

UTM sisteminin büyük ölçekli harita üretiminde, birden fazla dilime düşen uygulamalarda koordinat birliğini sağlayamadığı göz önünde tutularak, Türkiye enlem

ve boylam sınırlarının tek anlamlı koordinat sistemiyle tanımlanması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, UTM sisteminin klasik uygulaması yerine, ülkemizin coğrafi boyutları dikkate alınarak alternatif üç yöntem irdelenecektir. Yöntemlerden biri; UTM sistemindeki başlangıç meridyeninden uzaklaşma (boylam farkı) kriterini 30°'ye çıkararak Klotz yönteminin, Türkiye'nin coğrafi boyutları gözönüne alınarak yeniden tanımlanmasıdır. Bu sistem, UTM ile karışıklığa sebep vermemesi için, Türkiye UTM (TUTM) şeklinde tanımlanmıştır. İkinci yöntem; Lambert Konform Konik (LKK) tasviri sistemidir. Sistem ülkemiz gibi doğu-batı yönünde uzanan ülkeler için kullanılmaktadır. Tek veya çift standart paralel olarak iki çeşit kullanımı vardır. Son yöntem ise; elipsoidin küreye ve kürenin düzleme konform tasviri yoluyla iki adımda gerçekleştirilen, konform çift tasvir (ÇT) yöntemidir.

## 2. ALTERNATİF YÖNTEMLER

### a. Dilim Genişliği Arttırılmış UTM Sistemi (Klotz Yöntemi)

Son yıllarda, Gauss-Krüger tasvir koordinatlarını elde etmek için küreyi yardımcı yüzey kabul eden ve kompleks fonksiyonlara dayanan farklı çözüm yöntemleri geliştirilmiştir (Yıldırım, 1998). Bu yöntemlerden, başlangıç meridyeninden uzaklaşma kriteri  $0^\circ \leq \ell = L - L_0 \leq 30^\circ$  olan Klotz yöntemi incelenecektir.

Klotz; Gauss-Krüger tasvir denklemlerini incelemiş ve tasvir şartları aynı kalmak şartıyla, tasvir denklemlerinin başlangıç meridyeninden uzaklaşma kriterini arttırmıştır. Gauss-Krüger düzlem koordinatları, daha önce  $\ell \leq 3^\circ$  için yeterli olup, Klotz'un çalışmalarıyla  $\ell \leq 30^\circ$  için de kullanılabilir duruma getirilmiştir.

Gauss-Krüger tasvirinde; (x,y) koordinat sistemi izometrik olduğundan, sadece (B,L) coğrafi koordinatlarının izometrik sisteme dönüştürülmesi gerekir. Elipsoidal enlem (B) ve izometrik enlem (q) arasındaki dönüşüm

$$q = \arctan h(\sin B) - e \arctan h(e \sin B) \quad (1)$$

$$\sin B_{i+1} = \tanh(q + e \operatorname{arctanh}(e \sin B_i)), \quad B_{(0)} = \arcsin(\tanh q)$$

ile gerçekleştirilir. Burada e birinci eksentrisitedir. Böylece her iki sistemde de  $z = x + iy$  ve  $\psi = q + i\phi$  kompleks izometrik koordinatlar elde edilir.  $z = x + iy$  kompleks meridyen mesafesinin hesabı için, B'ye karşılık gelen kompleks jeodezik enlemi ( $\Phi$ )'nin bilinmesi gerekir. (B,L) coğrafi koordinatları bilindiğinden  $\psi$  tanımlanır.  $\psi$ 'den  $\Phi$  hesaplanabilir ve z'in bulunması için

$$\sin \Phi_{i+1} = \tanh(\psi + e \operatorname{arctanh}(e \sin \Phi_i)), \quad \Phi_0 = 0 \quad (2)$$

$$z = M_0 (1 + E)\Phi - M_0 \frac{1}{2} \sin(2\Phi)E_\phi$$

iterasyon işlemiyle tasvir denklemi elde edilir. Burada E fonksiyonu

$$E(e^2) = \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \sum_{n=3}^{\infty} d_n^2 (2n+1)e^{2n}$$

$$E_B(e^2, B) = \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}\left(1 + \frac{2}{3}\sin^2 B\right)e^4 + \sum_{n=3}^{\infty} d_n^2 (2n+1)e^{2n} \sum_{k=0}^{n-1} k_k \sin^{2k} B \quad (3)$$

$$d_{n+1} = -d_n \frac{2n+1}{2n+2}, \quad d_0 = 1, \quad k_{k+1} = k_k \frac{2k+2}{2k+3}, \quad k_0 = 1$$

şeklinde hesaplanır. a elipsoidin büyük yarı eksen ve  $M_0 = a(1-e^2)$  olmak üzere, kompleks bir  $(\alpha+i\beta)$  sayısının sin, sinh, tanh, arctanh ve arcsin fonksiyonları için

$$\operatorname{arctanh}(\alpha + i\beta) = \frac{1}{2} \ln \frac{U}{V} + \frac{i}{2} \operatorname{arctan} \left( \frac{2\beta}{1-\beta^2-\alpha^2} \right)$$

$$\operatorname{arcsin}(\alpha + i\beta) = \operatorname{arcsin}(U - V) + i \ln(U + V + \sqrt{(U + V)^2 - 1})$$

$$U = \frac{1}{2} \sqrt{(\alpha+1)^2 + \beta^2}, \quad V = \frac{1}{2} \sqrt{(\alpha-1)^2 + \beta^2} \quad (4)$$

$$\operatorname{tanh}(\alpha + i\beta) = J \sinh 2\alpha + i J \sin 2\beta, \quad J = (\cosh 2\alpha + \cos 2\beta)^{-1}$$

$$\sinh(\alpha + i\beta) = \sinh \alpha \cos \beta + i \cosh \alpha \sin \beta$$

$$\sin(\alpha + i\beta) = \sin \alpha \cosh \beta + i \cos \alpha \sinh \beta$$

kullanılır (Klotz, 1993).

Gauss-Krüger konform tasviri için geçerli olan indirgeme formülleri Hristow tarafından çıkarılmıştır. Doğrultu indirgemesi

$$(T_1 - t_1) = \frac{\Delta x}{6R_m^2} (2y_1 + y_2) + \frac{\eta_m^2 t_m y_1}{3R_m^3} (3y_1 \Delta y - 2\Delta x^2 + 2\Delta y^2) - \frac{y_1^2 \Delta x}{12R_m^4} (3y_1 - y_2) \quad (5)$$

ile bulunur. Azimut için Gauss meridyen konvergensi (c) coğrafi koordinatlardan;

$$c = t \cos B \ell + \frac{t}{3\rho^2} \cos^3 B (1 + 3\eta^2 + 2\eta^4) \ell^3 + \frac{t}{15\rho^4} \cos^5 B (2 - t^2) \ell^5 \quad (6)$$

ile hesaplanır. Uzunluk indirgemesi;

$$S/s = (1/m_1 + 4/m_m + 1/m_2) / 6 \quad (7)$$

ile hesaplanır. Burada  $m_1, m_2$  ve  $m_m$  diferansiyel ölççekler, sırasıyla kenarın her iki ucunda ve ortasında hesaplanacak değerlerdir. Diferansiyel ölççek coğrafi koordinatlardan

$$m = 1 + \frac{1}{2\rho^2} \cos^2 B (1 + \eta^2) \ell^2 + \frac{1}{24\rho^4} \cos^4 B (5 - 4t^2) \ell^4 \quad (8)$$

hesaplanabilir. İndirgeme formüllerindeki  $t=\tan B$ ,  $\eta^2=e'^2\cos^2B$  ve  $\rho=180/\pi$  ile hesaplanır (Kaya, 1999).

## b. Lambert Konform Konik Tasviri

Lambert konform konik tasviri büyük ölçüde, boylam yönünde genişleyen alanlarda kullanılır. J. H. Lambert tarafından, 1772'de geliştirilmiştir. LKK sisteminin doğu-batı yönünde, yani boylam farkı genişliği büyük alanlarda kullanılması uygundur. Bunun yanında, enlem genişliği büyükse, UTM sistemine benzetilerek kuzey-güney doğrultusunda dilimlere ayrılır. Tasvir işleminde konformluktan başka, uygulama alanının ortasından geçen  $L_0$  ana meridyeni tasvirde düzlem sistemin x eksenini olmalı ve seçilecek  $B_0$  enlemler paralel daire uzunluk korumalıdır. Tek standart paralelden kuzeye ve güneye gidildikçe meydana gelen bozulmaların önüne geçmek ve azaltmak amacıyla, iki standart paralel kabul edilerek de konform konik tasvir tanımlanabilir (Bugayevskiy, vd.,1998; Hooijberg,1997; King, 1988; Pearson, 1990; Yang, vd., 2000).

Tek standart paralel genellikle, uygulama alanı için seçilen  $B_0$  enlemiyle belirlenir. Tasvir düzleminin koordinat başlangıç noktasının enlemi hem orijin hem de standart paralel görevinin her ikisini de yerine getirir. Çift standart paralelde  $B_0$  enleminin farklı olarak, standart paralellerin belirlenmesi gerekir. İki standart paralel dairenin seçiminde; standart paraleller arasındaki meridyen boyunca olan mesafe, çalışma bölgesinin enlem sınırları arasındaki meridyen boyunca (kuzey-güney) olan mesafenin üçte ikisi ve çalışma bölgesinin meridyen sınırları arasındaki enlem boyunca (doğu-batı) olan mesafenin altıda biri kadar olmasına dikkat edilir (Bilgin, 1996; Hooijberg ,1997).

Koordinat başlangıcına göre tasvir koordinatları, tek ve çift standart paralel için de benzer olup

$$x = R_0 - R \cos \ell', \quad y = R \sin \ell' \quad (9)$$

biçimindedir. Buradaki değişkenler çift standart paralel için  $\alpha = \sin B_0$  olmak üzere

$$\begin{aligned} \ell' &= \ell \delta, \quad R_0 = \frac{1}{\delta} N_0 \cos B_0, \quad N_0 = \frac{a}{\sqrt{1 - e'^2 \sin^2 B_0}} \\ R &= \frac{1}{\delta} \left( \frac{q_1}{q} \right)^\alpha N_1 \cos B_1 = \frac{1}{\delta} \left( \frac{q_2}{q} \right)^\alpha N_2 \cos B_2 \\ \delta &= \frac{\ln(N_1 \cos B_1) - \ln(N_2 \cos B_2)}{\ln(q_2) - \ln(q_1)} \end{aligned} \quad (10)$$

ile hesap edilir ( Bugayevskiy,1998; Kaya 1984; Pearson, 1990; Yang, vd., 2000). LKK için uzunluk ve doğrultu indirgeme formülleri (Çelik, 1993)'de verilmektedir. Meridyen konvergensi ise  $c=(L-L_0).\sin B_0$  eşitliğinden hesaplanır.

### c. Çift Tasvir

Elipsoidin küre üzerine ve kürenin düzleme konform tasviriyle iki adımlık tasvir işlemi, çift tasvir olarak isimlendirilir. Türkiye gibi doğu-batı doğrultusunda uzanan ve en kuzey ve en güney noktaları arasındaki enlem farkı nispeten küçük olan bir ülkede, jeodezik hesaplamalar tasvir küresi üzerinden yapılabilir. Buradan uygulama alanını ortalayan büyük dairenin alındığı tek bir küresel dik koordinat sisteminin kullanılmasıyla koordinat bütünlüğü sağlanır. Önerilen küresel dik koordinat sisteminin düzleme aktarılmasıyla da, düzlem hesap kolaylığından yararlanılır (Özbenli, 1982).

Konform çift tasvirin uygulanmasıyla, bütün ülkede geçerli ve transformasyona gerek kalmadan, bir düzlem dik koordinat sistemi elde edilebilir. UTM dilim sistemi dilimler halinde uygulandığından, Türkiye boylam sınırları içinde tek bir düzlem sistem yeterli olamamakta ve dilimler arası dönüşümler gerekmektedir. Çift tasvir yöntemi dönüşüm problemini ortadan kaldırabilir (Kaya, 1984).

#### (1) Elipsoidin Küreye Konform Tasviri

Elipsoidin küre üzerine konform tasviri, 1772 yılında Lambert tarafından geliştirilmiştir. 1807 yılında ise Mollweide, elipsoidin küreye konform tasviri hakkında bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma daha sonra C. F. Gauss tarafından jeodezik çalışmalar için geliştirilmiştir (Fiala, 1976). Elipsoidde ( $q, \ell$ ) ve kürede ( $\omega, \lambda$ ) izometrik koordinatlarla, elipsoidin küreye konform tasviri için

$$\begin{aligned} K_1 &= \sqrt{1 + e'^2 \cos^4 B_0} \\ K_2 &= \arctan h\left(\frac{\sin B_0}{K_1}\right) - K_1 [\arctan h(\sin B_0) - e \arctan h(e \sin B_0)] \\ \varphi &= \arcsin(\tan h(K_1(\arctan h(\sin B) - e \arctan h(e \sin B)) + K_2)) \\ \lambda &= K_1 \ell \end{aligned} \quad (11)$$

denklemleri oluşturulur. Burada  $B_0$  uygulama alanı ortasında seçilecek başlangıç noktasının enlemi ve  $e'$  ikinci eksentrisitedir. Elipsoid ve küredeki azimutların farkı ( $\psi$ ) yani elipsoid ve küre için doğrultu indirgemesi formülleri için de uzun kenarlarda en duyarlı sonucu

$$\begin{aligned} \psi_1 &= -\frac{1}{3} \eta_0^2 \tan \varphi_0 \frac{s}{r} \sin A'_1 \cos \varphi_1 \left[ \frac{\Delta \varphi_1^2 (1 + K_4 \Delta \varphi_1)}{\cos \varphi_1} + 2 \frac{\Delta \varphi_m^2 (1 + K_4 \Delta \varphi_m)}{\cos \varphi_m} \right] \\ \psi_2 &= \frac{1}{3} \eta_0^2 \tan \varphi_0 \frac{s}{r} \sin A'_1 \cos \varphi_1 \left[ \frac{\Delta \varphi_2^2 (1 + K_4 \Delta \varphi_2)}{\cos \varphi_2} + 2 \frac{\Delta \varphi_m^2 (1 + K_4 \Delta \varphi_m)}{\cos \varphi_m} \right] \\ K_4 &= \frac{1 - 6e'^2 + 7\eta_0^2}{3V_0^2 \tan \varphi_0} \end{aligned} \quad (12)$$

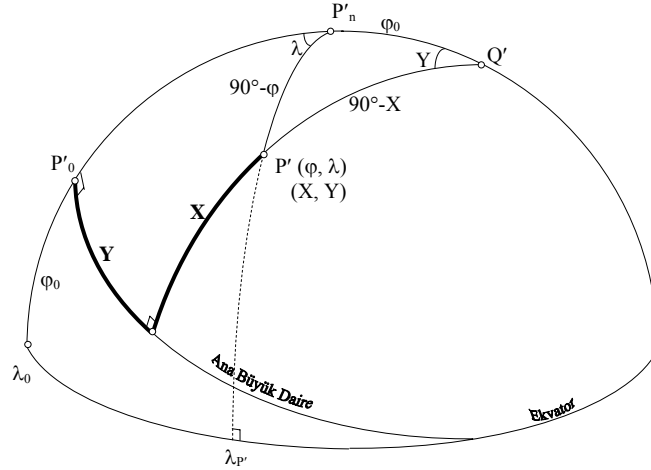
formül takımları vermektedir. Burada  $\Delta \varphi_i = \varphi_i - \varphi_0$  dir (Kaya, 1984). Uzunluk indirgemesi için (7)'deki diferansiyel ölçek ilişkisi kullanılır. Diferansiyel ölçeğin hesabı için formül aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned}
m = & 1 - \frac{2t_0\eta_0^2}{3V_0} \Delta\varphi^3 + \frac{\eta_0^2}{6V_0^2} (6e'^2 - 1 - 7\eta_0^2) \Delta\varphi^4 \\
& + \frac{t_0}{30V_0^3} [-3e'^2(1 + 4\eta_0^2 + 16\eta_0^4) + (5\eta_0^2 + 36\eta_0^4 + 70\eta_0^6)] \Delta\varphi^5 \\
& + \frac{1}{180V_0^4} \left[ \frac{15e'^4}{\eta^2} (-1 + 2\eta_0^2 + 16\eta_0^4 + 32\eta_0^6) + 2e'^2(6 - 100\eta_0^2 - 505\eta_0^4 - 684\eta_0^6) \right. \\
& \left. + (5\eta_0^2 + 196\eta_0^4 + 816\eta_0^6 + 910\eta_0^8) \right] \Delta\varphi^6
\end{aligned} \tag{13}$$

Burada  $V_0 = (1 + e'^2 \cos^2 B_0)^{(1/2)}$  ve  $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$  dır.

## (2) Kürenin Düzleme Konform Tasviri

Küre üzerinde bir jeodezik dik koordinat sistemi oluşturulurken, Türkiye doğu-batı doğrultusunda uzandığından, bölgenin ortasında seçilen noktada meridyene dik olan bir ana büyük daire seçilir. Bu ana büyük daireye dik olan bütün büyük daireler, bölgenin ortasında seçilen noktanın meridyeni üzerinde ve kutup noktasından  $\varphi_0$  uzaklığındaki bir noktada kesişirler (Şekil 2).



Şekil 2. Büyük daireyi esas alan küresel dik koordinat sistemi

Böylece büyük daireyi esas alan küresel dik koordinat sisteminde herhangi bir noktanın coğrafi koordinatlarından küresel dik koordinatlar

$$\begin{aligned}
X &= r \arcsin(\cos \varphi_0 \sin \varphi - \sin \varphi_0 \cos \varphi \cos \lambda) \\
Y &= r \arctan(\sin \lambda / (\sin \varphi_0 \tan \varphi + \cos \varphi_0 \cos \lambda))
\end{aligned} \tag{14}$$

şeklinde hesaplanır. Kürenin düzleme konform tasviri ve ters dönüşüm bağıntıları

$$y = Y, \quad x = r \arctan(\sin(X/r)) \tag{15}$$

biçimindedir. Düzlem dik koordinatlardan doğrultu indirgemesi



$$T_1 - t_1 = -\frac{\Delta y}{6r^2}(2x_1 + x_2) \left[ 1 - \frac{1}{54r^2}(2x_1 + x_2)(x_1 + 5x_2) \right] \quad (16)$$

$$T_2 - t_2 = \frac{\Delta y}{6r^2}(x_1 + 2x_2) \left[ 1 - \frac{1}{54r^2}(x_1 + 2x_2)(5x_1 + x_2) \right]$$

ve uzunluk indirgemesi

$$S - s = -\frac{S}{6r^2}(x_1^2 + x_1x_2 + x_2^2) + \frac{S}{24r^4}(x_1^4 + x_1^3x_2 + x_1^2x_2^2 + x_1x_2^3 + x_2^4) \quad (17)$$

bağıntılarıyla hesaplanır. Meridyen konvergensi ( $\varepsilon$ ),

$$\varepsilon = \arctan(\sin(\lambda - \lambda_0)/(\cot \varphi_0 \cos \varphi + \sin \varphi \cos(\lambda - \lambda_0))) \quad (18)$$

$$\varepsilon = \arctan(\sin Y/(\cot \varphi_0 \cos X - \sin X \cos Y))$$

coğrafi veya büyük daire dik koordinat sisteminden ayrı ayrı hesaplanabilir. Tasvir ve indirgeme formüllerinde kullanılan  $r$  Gauss eğrilik yarıçapı,  $r=(a^2/b)(1+e^2\cos^2B_0)$  ile hesaplanır (Kaya, 1984).

#### d. Elipsoid Coğrafi Koordinatlarla Jeodezik Temel Problem Çözümü

Alternatif yöntemlerin irdelenmesi için, elipsoid yüzeyinde yapılan jeodezik temel problem çözümüne gerek vardır. Bunun için mevcut jeodezik temel problem çözümlerinden; kolay programlanabilir, az boyut kaplayan ve işlem zamanının minimum olduğu en uygun yöntem olarak Vincenty yöntemi seçilmiştir (ICSM, 2001; Vincenty, 1975).

Vincenty yönteminde ikinci jeodezik temel problemin genel formülleri

$$S = bA(\sigma - \Delta\sigma)$$

$$A_{12} = \arctan((\cos \beta_2 \sin \Delta\lambda)/(\cos \beta_1 \sin \beta_2 - \sin \beta_1 \cos \beta_2 \cos \Delta\lambda)) \quad (19)$$

$$A_{21} = \arctan((\cos \beta_1 \sin \Delta\lambda)/(-\sin \beta_1 \cos \beta_2 + \cos \beta_1 \sin \beta_2 \cos \Delta\lambda))$$

biçimindedir.  $\beta$  indirgenmiş enlem ve  $b$  elipsoid küçük yarı eksenini olmak üzere;  $A$ ,  $\sigma$ ,  $\Delta\sigma$  ve  $\Delta\lambda$  değerleri bir iteratif işlem adımı sonucu belirlenir. Başlangıç değeri  $\Delta\lambda_{(0)} = \Delta L = L_2 - L_1$  olmak üzere

$$\sigma = \arcsin \left( \sqrt{(\cos \beta_2 \sin \Delta\lambda_{(0)})^2 + (\cos \beta_1 \sin \beta_2 - \sin \beta_1 \cos \beta_2 \cos \Delta\lambda_{(0)})^2} \right)$$

$$\delta = \arcsin(\cos \beta_1 \cos \beta_2 \sin \Delta\lambda_{(0)} / \sin \sigma), \quad \gamma = \cos \sigma - (2 \sin \beta_1 \sin \beta_2 / \cos \delta^2) \quad (20)$$

$$C = (\alpha / 16) \cos \delta^2 [4 + \alpha(4 - 3 \cos \delta^2)]$$

$$\Delta\lambda_{(1)} = \Delta L + (1 - C) \alpha \sin \delta \left\{ \sigma + C \sin \sigma [\gamma + C \cos \sigma (-1 + 2\gamma^2)] \right\}$$

Burada  $\alpha$  elipsoid basıklığıdır.  $\Delta\lambda$  değerindeki değişim önemsiz bir hale gelinceye kadar (bir önceki değerle arasındaki fark  $10^{-12}$  radyan olana kadar) iterasyon işlemi devam edilir. Böylece (19) genel denkleminde bilinmeyen  $A$  ve  $\Delta\sigma$  değerleri

$$\begin{aligned}
A &= 1 + (u^2 / 16384) \{4096 + u^2 [-768 + u^2 (320 - 175u^2)]\} \\
B &= (u^2 / 1024) \{2560 + u^2 [-128 + u^2 (74 - 47u^2)]\} \\
\Delta\sigma &= B \sin \sigma \left\{ \gamma + (B/4) [\cos \sigma (-1 + 2\gamma) - (B/6) \gamma (-3 + 4 \sin^2 \sigma) (-3 + 4\gamma^2)] \right\}
\end{aligned} \tag{21}$$

hesaplanır. Burada  $u^2 = e'^2 \cos^2 \delta$  dir. Birinci jeodezik temel problem çözümü için genel denklemler ise;

$$\begin{aligned}
B_2 &= \arctan \left( \frac{\sin \beta_1 \cos \sigma + \cos \beta_1 \sin \sigma \cos A_{12}}{(1 - \alpha) [(\cos \beta_1 \sin A_{12})^2 + (\sin \beta_1 \sin \sigma - \cos \beta_1 \cos \sigma \cos A_{12})^2]^{1/2}} \right) \\
\Delta L &= \Delta \lambda - (1 - C) \alpha \cos \beta_1 \sin A_{12} \left\{ \sigma + C \sin \sigma [\cos 2\sigma_m + C \cos \sigma (-1 + 2 \cos 2\sigma_m^2)] \right\} \\
A_{12} &= \arctan(\cos \beta_1 \sin A_{12} / (-\sin \beta_1 \sin \sigma + \cos \beta_1 \cos \sigma \cos A_{12}))
\end{aligned} \tag{22}$$

denklemleriyle ifade edilir. Burada C ve  $\Delta \lambda$ ;

$$\begin{aligned}
\Delta \lambda &= \arctan \left( \frac{\sin \sigma \sin A_{12}}{\cos \beta_1 \cos \sigma - \sin \beta_1 \sin \sigma \cos A_{12}} \right) \\
C &= (\alpha / 16) [1 - (\cos \beta_1 \sin A_{12})^2] [4 + \alpha (4 - 3 [1 - (\cos \beta_1 \sin A_{12})^2])]
\end{aligned} \tag{23}$$

ile hesaplanır. Bilinmeyen sadece  $\sigma$  değeri olup başlangıç değeri  $\sigma_{(0)} = S/(bA)$  olmak üzere;

$$\begin{aligned}
2\sigma_m &= 2 \arctan(\tan \beta_1 / \cos A_{12}) + \sigma_{(0)} \\
\Delta\sigma &= B \sin \sigma_{(0)} \left\{ \cos 2\sigma_m + (B/4) [\cos \sigma_{(0)} (-1 + 2 \cos 2\sigma_m^2) \right. \\
&\quad \left. - (B/6) \cos 2\sigma_m (-3 + 4 \sin^2 \sigma_{(0)}) (-3 + 4 \cos 2\sigma_m^2) \right\} \\
\sigma_{(1)} &= \frac{S}{bA} + \Delta\sigma
\end{aligned} \tag{24}$$

iterasyon ile  $\sigma$  hesaplanır. A ve B değerleri (21)'de verilmiştir (Vincenty, 1975).

### 3. BULGULAR ve İRDELEME

Yöntemlerin irdelemesi, aşağıda belirtilen noktaların elipsoidal coğrafi koordinatları (B,L) ve bu noktalar arasında tanımlı kenarlar ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla alternatif yöntemlerde ortak olarak seçilen kenarların her biri için;

a. Kenarların her iki ucundaki noktaların, (B,L)'den tasvir denklemleriyle düzlem koordinatları (x,y),

b. (B, L)'den elipsoid'de ikinci jeodezik temel problem çözümüyle (Vincenty yöntemi) S kenarı,  $A_{12}$  ve  $A_{21}$  azimutları,

c. (x,y) koordinatlarından düzlem s kenarı,  $t_{12}$  ve  $t_{21}$  düzlem semtleri,

ç. İndirgemelerin Kesin Değerleri (KD); elipsoid (S) ve düzlemde (s) hesaplanan kenar uzunluk farkları (S-s)KD ve elipsoidal azimut (A) ve düzlem semt (t) toplamından meridyen konvergensi (c) çıkartılarak oluşan doğrultu farkları (T-t)KD,

d. Her bir alternatif yöntem için geliştirilen farklı uzunluk (S-s) ve doğrultu (T-t) indirgeme formülleri hesaplanmıştır.

Tasvir sonucu kenarlardaki (S-s)KD ve (T-t)KD kesin değerleri belirlenip, bu değerlerden indirgeme formülleriyle hesaplanan (S-s) ve (T-t) değerlerinin farkları alınarak yöntemler karşılaştırılmıştır.

Tüm hesaplamalar için bir Microsoft Excel 2000 yazılımı kullanılmıştır. Excel hücrelerine sığmayan uzun ve kontr ol isteyen denklemler için, yazılımda mevcut olan Visual Basic makrolarından yararlanılmıştır. Tablo halinde elde edilen verilerin grafikleri Excel'de çizdirilerek, sayısal sonuçlar bu grafiklerle irdelenmiştir.

#### 4. UYGULAMA ALANI VE SEÇİLEN KENARLAR

Uygulama alanı olarak, Türkiye'nin coğrafi sınırlarını içine alan;  $35^{\circ}30'$ - $42^{\circ}30'$  kuzey enlemleri ve  $25^{\circ}30'$ - $45^{\circ}$  doğu boylamları seçilmiştir. Yöntemlerin tasvir sonucu uzunluk ve doğrultu deformasyonlarının incelenmesi için, farklı uzunluktaki kenarlar kullanılmıştır. Kenar uzunlukları 2 km artırılarak 100 km arasında olup toplam 50 kenar seçilmiştir. Seçilen kenarlar, ekvator dan ve başlangıç meridyeninden uzaklaşma ve enlem veya meridyen yönünde olma kriterleri için de irdelenmiştir. Bu koşulları sağlamak amacıyla kenarların başlangıç noktaları sabit ve artma yönü için farklı azimutlar alınarak birinci jeodezik temel problem çözümüyle kenarların son uç noktalarının coğrafi koordinatları belirlenmiştir (Şekil 3). Karşılaştırma yapılan kenarların özellikleri, aşağıda açıklanmıştır;

a. Başlangıç noktaları [(B= $36^{\circ}$ ;L= $36^{\circ}$ ), (B= $36^{\circ}$ ;L= $39^{\circ}$ ), (B= $36^{\circ}$ ;L= $42^{\circ}$ )] sabit olmak üzere, farklı üç konumda azimut değeri sıfır alınarak, enlem artış yönünde toplam 150 kenar belirlenmiştir. Her kenarın başlangıç noktası ve azimut değeri aynı olup son uç noktaları farklıdır. Dolayısıyla kenarların başlangıç meridyeninden uzaklaşma kriterine göre irdelenmesi sağlanmış olur. Fakat aynı büyüklükteki kenarların ekvator dan uzaklaşma kriterine göre irdelenmesi için de, (B= $39^{\circ}$ ;L= $36^{\circ}$ ), (B= $39^{\circ}$ ;L= $39^{\circ}$ ) ve (B= $39^{\circ}$ ;L= $42^{\circ}$ ) başlangıç noktaları sabit alınarak yine aynı azimutla 150 kenar daha belirlenmiştir. Bu irdeleme için toplam 300 kenar kullanılmıştır.

b. Başlangıç noktaları [(B= $36^{\circ}30'$ ;L= $26^{\circ}30'$ ), (B= $39^{\circ}$ ;L= $26^{\circ}30'$ ), (B= $41^{\circ}30'$ ;L= $26^{\circ}30'$ )] sabit olmak üzere azimut değeri  $90^{\circ}$  alınarak boylam artış yönünde toplam 150 kenar belirlenmiştir. Her kenarın başlangıç noktası ve azimut değeri sabit olup, son uç noktaları farklıdır. Dolayısıyla kenarların ekvator dan uzaklaşma kriterine göre irdelenmesi sağlanmış olur. Aynı büyüklükteki kenarların başlangıç meridyeninden uzaklaşma kriterine göre irdelenmesinin yapılabilmesi için de, (B= $36^{\circ}30'$ ;L= $35^{\circ}30'$ ), (B= $39^{\circ}$ ;L= $35^{\circ}30'$ ) ve (B= $41^{\circ}30'$ ;L= $35^{\circ}30'$ ) başlangıç noktaları sabit alınarak, yine

aynı azimutla 150 kenar daha belirlenmiştir. Bu irdeleme için toplam 300 kenar kullanılmıştır.

c. Başlangıç noktası ( $B=36^\circ; L=26^\circ30'$ ) ve azimut  $45^\circ$  sabit alınarak, kuzeydoğu yönünde büyüyen toplam 50 kenar seçilmiştir. Böylece, çalışma bölgesinin uç kısımlarındaki irdelemeler sağlanmış olur. Yine kuzeydoğu doğrultusunda çalışma bölgesini ortalayarak başlangıç noktası ( $B=39^\circ; L=35^\circ30'$ ) sabit ve aynı azimutla toplam 50 kenar daha alınarak test edilmiştir. Benzer amaç doğrultusunda; güneydoğu yönünde başlangıç noktaları ( $B=41^\circ30'; L=26^\circ30'$ ), ( $B=39^\circ; L=35^\circ30'$ ) ve azimut  $135^\circ$  sabit olmak üzere 100 kenar, güneybatı yönünde başlangıç noktaları ( $B=41^\circ30'; L=42^\circ$ ), ( $B=39^\circ; L=35^\circ30'$ ) ve azimut  $225^\circ$  sabit olmak üzere 100 kenar ve kuzeybatı yönünde başlangıç noktaları ( $B=41^\circ30'; L=42^\circ$ ), ( $B=39^\circ; L=35^\circ30'$ ) ve azimut  $315^\circ$  sabit olmak üzere 100 kenar belirlenmiştir. Bu irdelemede toplam 400 kenar belirlenmiştir.

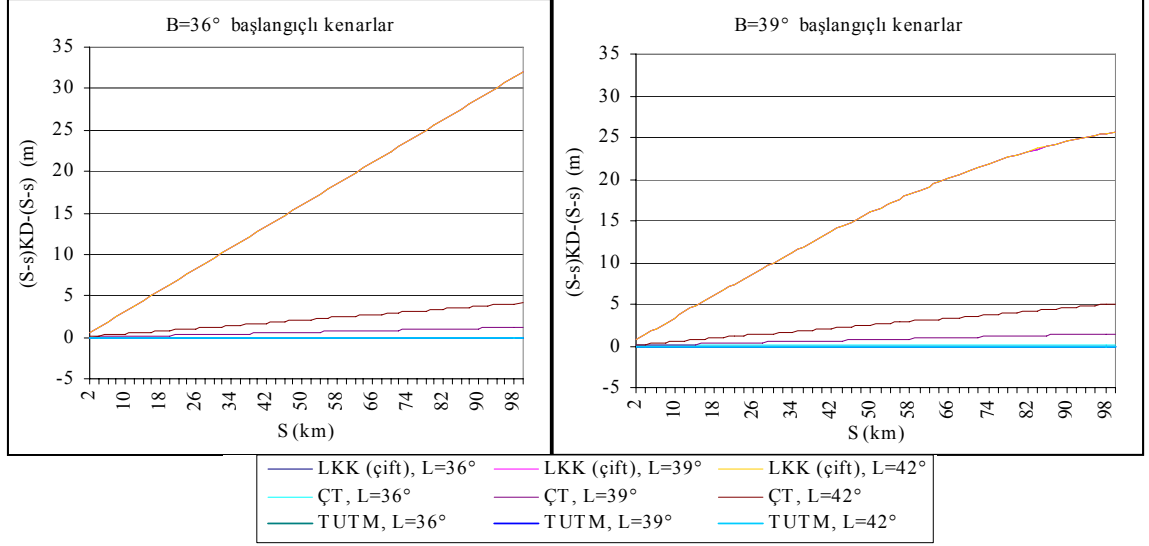


Şekil 3. Seçilen kenarların dağılımı.

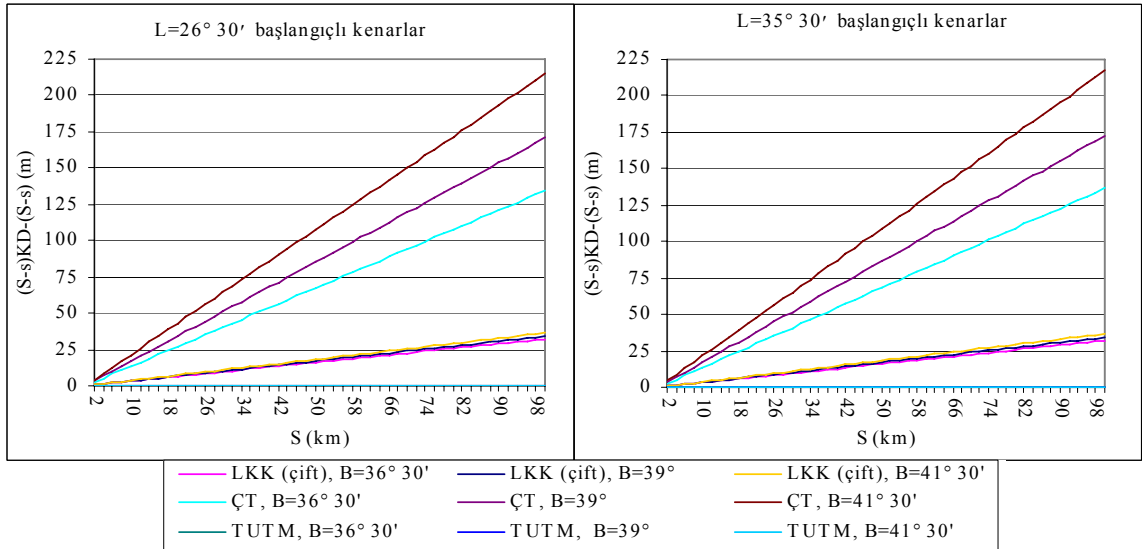
## 5. ALTERNATİF YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Alternatif yöntemlerin koordinat başlangıçları, seçilen kenarlar üzerinden hesaplanan (S-s)KD ve (T-t)KD irdelenerek; dilim genişliği artırılmış TUTM sisteminde  $L_0=35^\circ30'$ , Çift Tasvir sisteminde ( $B_0=39^\circ; L_0=35^\circ30'$ ) ve çift standart paralelli Lambert Konform Konik Tasvir sisteminde ise ( $B_1=37^\circ30'; B_2=40^\circ30'$ ) standart paraleli ve ( $B_0=39^\circ; L_0=35^\circ30'$ ) olarak belirlenmiştir (Yıldırım, 2004). Alternatif yöntemler, jeodezik tasvir amaçlı hesap doğruluğunun elde edilmesi

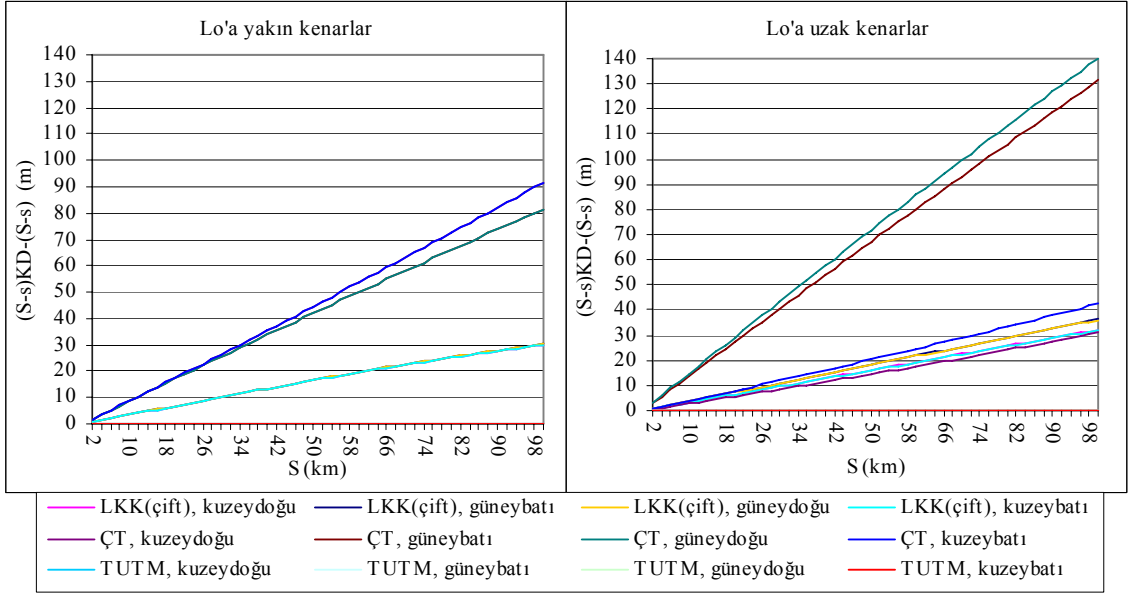
prensibine göre karşılaştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, elipsoidal coğrafi ve tasvir koordinatlarından hesaplanan uzunluk ve doğrultu farkları kesin değer alınmış ve bu değerlerden indirgeme büyüklüklerinin farkı bulunmuştur.



Şekil 4. Alternatif yöntemler; enlem artış yönünde (S-s)KD-(S-s) farkları.

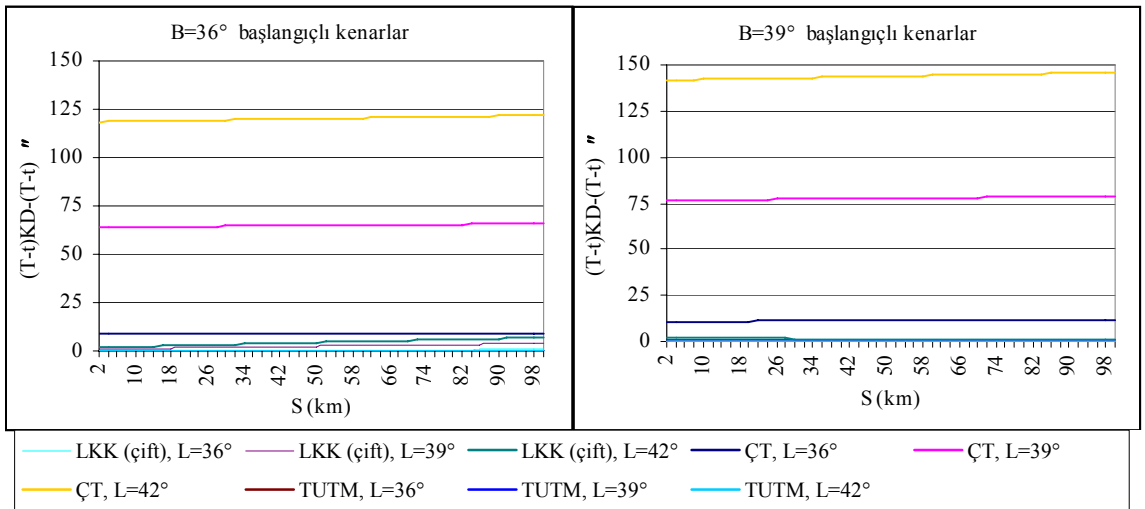


Şekil 5. Alternatif yöntemler; boylam artış yönünde (S-s)KD-(S-s) farkları.

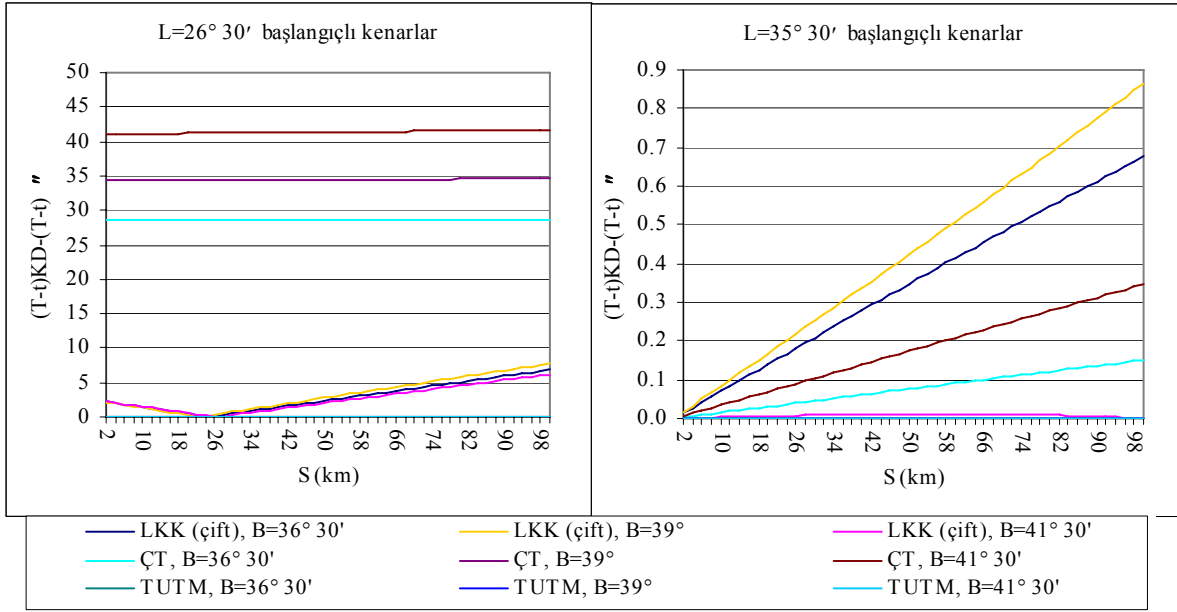


Şekil 6. Alternatif yöntemler; çapraz yönde (S-s)KD-(S-s) farkları.

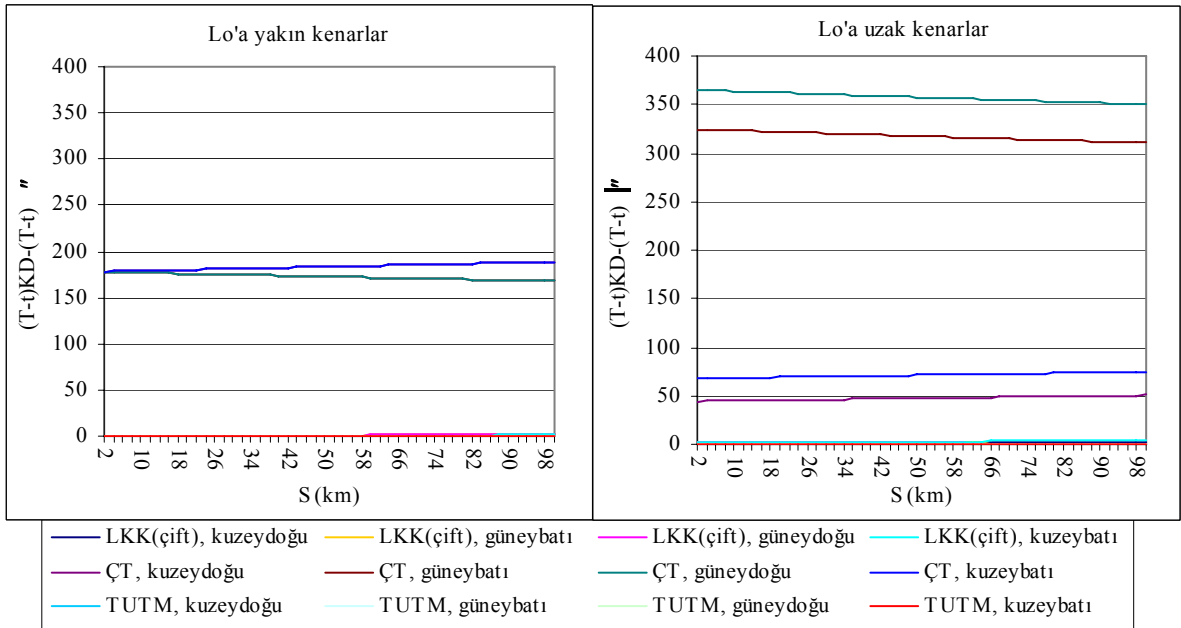
Şekil 4'de TUTM sisteminde en büyük kenarlar (100 km) için (S-s)KD-(S-s) farkları;  $L=36^\circ$  başlangıcında 0.1 mm,  $L=39^\circ$  başlangıcında 3 mm ve  $L=42^\circ$  başlangıcında 16 mm'nin altındadır. Şekil 4'de ayrıca ÇT sisteminde en büyük kenarlar için (S-s)KD-(S-s) farkları,  $L=36^\circ$  başlangıcında 30 mm altındadır. Şekil 5'de TUTM sisteminde en büyük kenarlar için (S-s)KD-(S-s) farkları;  $L=26^\circ30'$  başlangıcında 22 mm ve  $L=35^\circ30'$  başlangıcında 0.02 mm'nin altındadır. Şekil 6'de ise TUTM sisteminde en büyük kenarlar için (S-s)KD-(S-s) farkları;  $L_0$  yakın kenarlarda 0.03 mm,  $L_0$ 'a uzak güneybatı ve kuzeybatı yönlerinde 9 mm kuzeydoğu ve güneydoğu yönlerinde 30 mm'nin altındadır. ÇT ve LKK sistemleri için (S-s)KD-(S-s) farkları TUTM'ye nazaran daha büyük olup, grafiklerde açıkça görülmektedir.



Şekil 7. Alternatif yöntemler; enlem artış yönünde (T-t)KD-(T-t) farkları.



Şekil 8. Alternatif yöntemler; boylam artış yönünde (T-t)KD-(T-t) farkları.



Şekil 9. Alternatif yöntemler; çapraz yönde (T-t)KD-(T-t) farkları.

Şekil 7'de TUTM sisteminde en büyük kenar 100 km için (T-t)KD-(T-t) farkları; L=36° başlangıcında 0.0004", L=39° başlangıcında 0.0605", ve L=42° başlangıcında 0.4088"nin altındadır. LKK sisteminde en büyük kenar 100 km için (T-t)KD-(T-t) farkları; (B=39°;L=36°) başlangıcında 0.1050", (B=39°;L=39°) başlangıcında 0.6809", (B=39°;L=42°) başlangıcında 1.0133" ve (B=36°;L=36°) başlangıcında 0.5649"nin altındadır. Şekil 8'de en büyük kenarlar için (T-t)KD-(T-t)

farkları; TUTM sisteminde  $L=26^{\circ}30'$  başlangıcında  $0.0923''$  ve  $L=35^{\circ}30'$  başlangıcında  $0.0004''$ , ÇT sisteminde ( $B=39^{\circ};L=35^{\circ}30'$ ) başlangıcında  $0.00001''$ , LKK sisteminde ( $B=41^{\circ}30';L=35^{\circ}30'$ ) başlangıcında  $0.012''$ 'nin altındadır. Diğer kenar başlangıçları grafiklerde açıkça görülmektedir. Şekil 9'da TUTM sisteminde en büyük kenar 100 km için (T-t)KD-(T-t) farkları;  $L_0$  yakın kenarlarda  $0.0002''$ ,  $L_0'$  a uzak güneybatı ve kuzeybatı yönlerinde  $0.2847''$  kuzeydoğu ve güneydoğu yönlerinde  $0.7521''$ 'nin altındadır. LKK sisteminde en büyük kenar 100km için (T-t)KD-(T-t) farkları;  $L_0$  yakın kuzeybatı ve kuzeydoğu yönlerinde  $1.5309''$ ,  $L_0$  yakın güneybatı ve güneydoğu yönlerinde  $2.6792''$ ,  $L_0'$  a uzak kenarlarda  $4.5073''$ 'nin altındadır. ÇT ve LKK sistemleri için (T-t)KD-(T-t) farkları grafiklerden de görüldüğü gibi TUTM sistemine göre daha büyüktür.

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Komşu dilimdeki bindirme bölgeleri dahil edilmiş bir UTM dilimini aşan mühendislik projeleri ve CBS uygulamalarında kullanılan altlıkların, ortak koordinat sisteminde olması arzu edilir fakat bu amaçlar için UTM sistemi yetersiz kalmaktadır. UTM sistemi yerine, ülkemiz coğrafi sınırlarında ortak bir koordinat sistemi amaçlı; dilim genişliği arttırılmış TUTM, Konform Çift Tasvir ve Lambert Konform Konik (çift standart paralelli) sistemleri çalışmada ele alınmıştır. UTM sisteminin yetersiz kaldığı durumlarda, ortak koordinat sistemi için elipsoidal coğrafi koordinatlar veya ortak dik koordinatlara geçiş yapılabilir. Koordinat altlığının coğrafi veya ortak dik koordinatlar seçilmesi halinde de, bu koordinatlarla jeodezik amaçlı hesap ve çizim yapma zorluğu ortaya çıkar. Dolayısıyla, çizim ve hesap için tekrar tasvir koordinatlarına geçiş yapılması gerekir. Bu durumda da aynı noktaya ait iki koordinat değeri saklanması, veri yükünü arttırır. Çalışmadaki alternatif yöntemlerle elde edilen düzlem koordinatlar, hem koordinat birliğini sağlar hem de çizim ve hesap amaçlı kullanılarak bu veri yükünü ortadan kaldırır.

Bu çalışmada; TUTM sisteminin tasvir koordinatları için, başlangıç boylamından uzaklaşma  $\ell=L-L_0 \leq 30^{\circ}$  ve Gauss-Krüger tasvir kuralları geçerli olan Klotz yöntemi, TUTM sisteminde kullanılmıştır. Bu yöntemle; UTM sisteminde olduğu gibi, jeodezik hesaplamaların gerekli indirgemelerle düzlem üzerinde fakat elipsoid yüzeyindeki hesap doğruluğunda yapılması amaçlanmıştır. Klotz tarafından yapılan çalışmada indirgeme formülleri verilmemiştir. Bu nedenle, TUTM sistemi için indirgeme formülleri detaylıca incelenerek, jeodezik tasvir amaçlı hesap doğruluğu elde edilmiştir.

Yapılan uygulamalarda getirilecek kesin indirgeme değerleri; seçilen başlangıç boylam ve enlemine yakın olan kenarlarda küçük olup, aynı kenarlar başlangıçtan uzaklaştıkça büyümektedir. İndirgeme miktarları mühendislik projelerinde dikkate alınmalı ve indirgeme formülleri kullanılmalıdır. CBS uygulamalarında harita üzerinden okunan değer, ölçeğe bağlı olarak belli bir hata ile yüküldür. Bunun haricinde, elipsoid-düzlem farklarından gelen indirgeme büyüklüklerini de, duyarlık gerektiren CBS uygulamalarında dikkate almak gerekir. CBS uygulamalarında ise bu farklar daha çok kullanıcıların tercihine bağlıdır. CBS kullanıcısı bu farkların çalışma duyarlığının yani indirgeme getirip getirmeyeceğine karar vermelidir.



TUTM sistemi için indirgeme formüllerinin doğrulukları incelendiğinde; Hristow tarafından geliştirilen uzunluk ve doğrultu indirgemesi formülleri, uygulama alanındaki tüm kenarlar için yeterlidir. Uzunluk indirgeme formülü, başlangıç boylamına en uzak ve 100 km'lik kenarlarda 3 cm doğruluğunda sonuç verir. Doğrultu indirgeme formülü ile hesaplanan değerle kesin indirgeme değerleri arasındaki farkın koordinat değerlerine etkisi, koordinat başlangıcına en uzak ve 100 km'lik kenarlarda 5 cm'nin altında kalmaktadır.

Çift standart paralelli LKK ve konform çift tasvir sistemindeki indirgeme formüllerinin doğrulukları TUTM sistemine nazaran gerekli hassasiyeti sağlayamamaktadır. LKK ve ÇT sistemleri için uzunluk ve doğrultu indirgeme formüllerinin; yapılan çalışmalar sonucunda yetersiz kaldığı görülmüştür. İndirgeme formüllerinin büyüyen kenarlarda ve koordinat başlangıcından uzaklaştıkça etkili olabilmesi için, geliştirilmesi gerekir. Fakat bu formüller seri açılımlara dayandığından, ilave terimlerin elde edilmesi oldukça uzun ve karmaşık işlem adımlarını gerektirir. Bu çalışmada ÇT sisteminde uzunluk indirgemesi için ilave terimler hesaplanmış ve sonuca etkisinin en büyük kenarda bile santimetre seviyesinde kaldığı gözlenmiştir. Böylece LKK ve ÇT sistemlerinin uygulamada kullanılması durumunda, uzunluk ve doğrultu değerlerinde gerekli hassasiyet ancak elipsoid yüzeyinde jeodezik temel problem çözümüyle sağlanabilir.

İndirgeme formüllerinin doğrulukları karşılaştırıldığında; TUTM sistemindeki indirgeme formülleri, çift standart paralelli LKK ve konform çift tasvirde kullanılan indirgeme formüllerine nazaran elipsoid-düzlem farklarını daha iyi karşılamaktadır. Dolayısıyla; mühendislik projelerinde TUTM, fazla duyarlık gerektirmeyen CBS uygulamalarında ise çift standart paraleli LKK sisteminin kullanımının tercih edilmesi gerekir.

İki komşu UTM dilimindeki uygulama alanı için, sınırlar arasındaki boylam farkı 6° den küçükse, uygulama alanını ortalayan  $L_0$  seçimi ve mevcut kuvvet serileri formülleri kullanılarak yeni bir sistem oluşturulur. Şayet boylam farkı 6° den büyükse, çalışmamızda önerilen sistemlerden birine geçiş yapılmak zorundadır. İki komşu DUTM dilimindeki uygulama alanı bir UTM dilimine giriyorsa, bu UTM dilime geçiş yapılır. Şayet UTM dilimine geçiş yapılamıyorsa, yine uygulama alanını ortalayan  $L_0$  seçimi ve mevcut kuvvet serileri formülleri kullanılarak, yeni bir sistem oluşturulabilir.

## KAYNAKLAR

**Bilgin, T.**, 1996 Genel Kartografya I, Kartografyanın Tarihçesi Projeksiyonlar Harita Alma ve Yapmanın Esasları, Filiz Kitabevi, İstanbul

**BÖHY**, 1999, Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara

**Bugayevskiy, L., Snyder, J.**, 1998, Map Projection a Reference Manual, Padstow

**Çelik, K.**, 1993, Elipsoidin Düzleme Konform Konik Tasviri, *Yüksek Lisans Tezi*, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

**Fiala, F.**, 1976, Matematiksel Kartografya (M. Özgen, A. Aksoy ve Ö. Demirağ tarafından çeviri), Matbaa Teknisyenleri Koll. Şti., İstanbul.

**Hooijberg, M.**, 1997, Practical Geodesy Using Computers, Springer-Verlag Heilderberg, Germany.

**ICSM**, 2001, Intergovernmental Committee on Surveying&Mapping, Geocentric Datum of Australia Technical Manual Version 2.2, ISBN-0-9579951-0-5.

**Kaya, A.**, 1984, Elipsoidin Küreye Konform Tasvir Yoluyla Jeodezik Temel Problemlerin Çözümü Üzerine Bir İnceleme, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enst., Trabzon.

**Kaya, A.**, 1999, Jeodezi II, Küre ve Elipsoidin Düzleme Tasviri, KTÜ Basımevi, Trabzon.

**King, C. W. B.**, 1988, Computational Formulae for The Lambert Conformal Projection, Survey Review, **229(29)**, 323-337.

**Klotz, J.**, 1993, Eine Analytische Lösung der Gauß-Krüger-Abbildung, ZFV, **3**, 106-116,

**McDowell, D. J., Borgen, B. W.**, 1994, Modified UTM Grid Projections Applications for Field and Computer Generated Coordinate System, ASPRS/ACSM (1994) January.

**Özbenli, E.**, 1982, Elipsoidin Küreye Konform Tasviri, KTÜ Yer Bilimleri Fakültesi Araştırma Raporları Serisi, **3**, KTÜ Basımevi, Trabzon.

**Pearson, F.**, 1990, Map projections, Theory and Applications., CRC Press, United States of America, Florida.

**Vincenty, T.**, 1975, Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with Application of nested Equations, Survey Review, **176(22)**, 88-93.

**Yang, Q., Synder, J., Tobler, W.**, 2000, Map Projection Transformation Principles and Applications, London.

**Yıldırım, F.**, 1998, Gauss-Krüger Tasvirinde Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

**Yıldırım, F., Kaya, A., Reis, S.**, 2003, Ülke veya İl Bazlı Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Altlık Problemi ve Çözüm Önerileri, *1. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İstanbul.

**Yıldırım, F.**, 2004, Dilim Esasına Dayalı UTM Sistemi İçin Alternatif Çözüm Yöntemlerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.