

AKÜ FEMÜBİD 18 (2018) 015503 (250- 255)

AKU J. Sci. Eng. 18 (2018) 015503 (250-255)

DOI: 10.5578/fmbd.66875

Üç Boyutlu Koordinat Dönüşüm Yöntemlerinin İncelenmesi

Mevlüt Güllü¹, Ekrem Tuşat², Tamer Baybura¹, Bayram Turgut¹¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.²Selçuk Üniversitesi, Çumra Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Çumra/Konya.e-posta: mgullu@aku.edu.tr

Geliş Tarihi:07.08.2017

; Kabul Tarihi:20.04.2018

Özet

Dünya üzerindeki bütün ülkeler kendi konumsal bilgilerini sayısal ortamda saklamak ve kullanabilmek için bir datum belirlemiştir. Bu datumu kullanarak ülkelere ait jeodezik verileri bir altlık üzerine işleyerek her türlü planlama işlerinde kullanmaya başlamıştır. Fakat Küresel Uydu Konumlama Sistemi (GNSS) dünyada yaygınlaşması ile Konumsal bilgiler Uluslararası Yersel Referans Sistemi 1996 (ITRF96) datumunda elde edilmeye başlamıştır. Ülkeler için bu datumdan kendi ulusal datumlarına geçmek bir mecburiyet haline gelmiştir. Türkiye’de de Avrupa Datumu 1950 (ED50) kullanılmıştır. GPS alıcılarıyla elde edilen ITRF96 datumunda elde edilen koordinatların ED50 datumuna dönüştürülmesi gerekmektedir. 3D datum dönüşümü için bilim adamları tarafından birçok matematiksel yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada bu yöntemlerden olan Helmert, Moledensky-Bedakas, Veis ve Afin yöntemleri aynı veri kümesinde test edilerek sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler

3D Dönüşümü; Bursa-Wolf; Moledensky-Bedakas; Veis; Afin

Investigation of Three Dimensional Coordinate Transformation Methods

Abstract

All countries on the Earth have determined a datum in order to use their spatial information in digital environment. Using this datum, they have started to use their geodetic data by processing on a base to use in all kinds of planning works. However, with the globalization of Global Positioning System (GNSS) in the world, spatial information has begun to be obtained in the International Earth Reference System 1996 (ITRF96) datum. For the countries, it has become an obligation to transform coordinates from global datum to their national datums. European Datum 1950 (ED50) was also used in Turkey. Coordinates obtained from ITRF96 datum with GPS positioning method need to be converted to ED50 datum. Many mathematical methods have been developed by scientists for 3D datum transformation. In this study, Helmert, Moledensky-Bedakas, Veis and Afin methods were tested on the same data set and the results were compared.

Keywords

3D Transformation;
Bursa-Wolf;
Moledensky-Bedakas;
Veis; Affine.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Üç boyutlu koordinat dönüşümü için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler, kullandıkları koordinatlar, hesap kolaylığı, parametre sayıları, sonuç ve metodoloji yönünden farklılıklar gösterir. Bu yöntemler genellikle geliştiren kişi ve kişilerin isimleri ile anılmaktadır. Dönüşüm parametre sayısı 7 ve daha çok olan matematiksel algoritmalarda geliştirilmiştir. Fakat 3D dönüşüm modellerinde genellikle 7 parametre tercih edilir. Bu parametreler 3 öteleme 3 dönüklük ve 1 ölçek faktörüdür. Afin dönüşümünde ise X, Y, Z eksenleri yönünde 3 öteleme 3 dönüklük ve 3 ölçek olmak üzere 9 parametre ile dönüşüm gerçekleştirilmektedir. Bu

çalışmada jeodezik uygulamalarda en çok kullanılan benzerlik dönüşümleri ve afin dönüşümü kullanılmıştır. Dönüşümün hassas bir şekilde yapılabilmesi için her iki sistemde koordinatları bilinen eşlenik noktalara ihtiyaç vardır. Benzerlik dönüşümünde şekillerin benzerliği korunur (Güllü, 2016). Eşlenik nokta sayıları gereğinden fazla ise dönüşüm parametreleri dengeleme yardımıyla hesaplanır. En Küçük Kareler (EKK) yönteminde fonksiyonel model oluşturulurken kullanılan katsayılar matrisi hatasız ve ölçüler aynı hassasiyette kabul edilerek dengeleme işlemi ile dönüşüm parametreleri kestirilir (Güllü, 2003). Fakat katsayılar matrisinde kullanılan değerlerin içinde

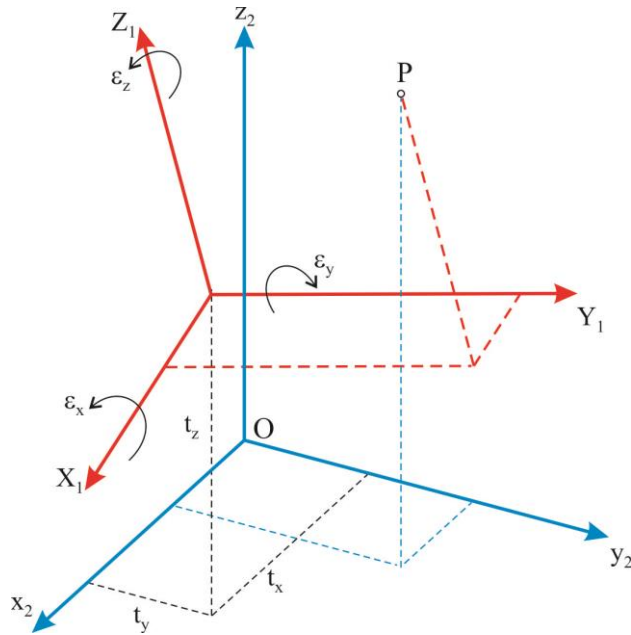
sabit değerlerin yanı sıra koordinat değerleri de bulunmaktadır. Bu koordinatlar da tesadüfi ve kaçınılmaz hatalarla yüklüdür. EKK yönteminde bu hatalar yok sayılarak parametreler kestirilir (Wolf ve Ghilani 1997, Ayer ve Tiennah 2008, Ayer 2008).

2. Üç Boyutlu Benzerlik Dönüşümleri

3D benzerlik dönüşüm yöntemleri jeodezide yaygın olarak kullanılmaktadır. Benzerlik dönüşümünde objelerin şekilleri korunur. Dönüşüm sonrası kenarlar aynı oranda büyüyüp küçülmekte, açıların mutlak değerleri sabit kalmaktadır (Pektekın, 1989). Dönüşümden sonra şekiller asıllarına benzer. Üç boyutlu benzerlik dönüşüm modelleri; Helmert, Bursa-Wolf, Moledensky-Badakas, Veis yöntemleri olarak sıralanabilir.

2. Benzerlik Dönüşümleri

2.1. Bursa-Wolf Dönüşüm Modeli



Şekil 1. Bursa-Wolf Dönüşüm Modeli

Uzaydaki bir P noktasına farklı iki datumda koordinat verilirse bu datumlar arasındaki dönüşüm bağıntısı 7 parametre ile tanımlanır (Şekil 1). Bu eşitlik:

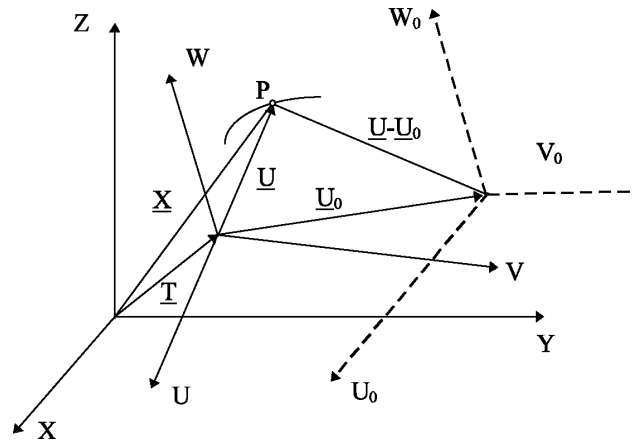
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + (1 + \Delta k) \begin{bmatrix} 1 & -\varepsilon_z & \varepsilon_y \\ \varepsilon_z & 1 & -\varepsilon_x \\ -\varepsilon_y & \varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (1)$$

şekindedir. Bağıntıda geçen (X, Y, Z) 1. sistem koordinatları, (x, y, z) 2. sistem koordinatları, $(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)$ x, y, z eksenlerindeki dönüklükleri,

(t_x, t_y, t_z) x, y, z eksenlerindeki ötelemeleri ve Δk ise ölçek faktörünü temsil eder (Şekil 1). Bu eşitlikte geçen dönüşüm parametreleri bilinmediği için bunların hesabı her iki sistemde yeteri kadar eşlenik nokta varsa en küçük kareler yöntemine göre dengelenerek elde edilir. Parametrelerin kestirimi yapıldıktan sonra istenildiği kadar nokta istenilen datuma kolaylıkla dönüştürülür (Üstün 1996, Güllü vd. 2017, Başçıftçı 2008, Gullu vd. 2003, Lan vd. 2012, Ren vd. 2015, Ayer 2008).

2.2. Moledensky- Badakas Dönüşüm Modeli

Bu dönüşüm modeli Bursa -Wolf modelinin değişik bir versiyonudur. Bu dönüşümde ek olarak yardımcı bir nokta kullanılır. Bu nokta genellikle ağırlık merkezinin koordinatlarıdır (Şekil 2). Burada amaç küçültülmüş değerler kullanarak dengeleme modelinin hassasiyetini arttırmaktır (Başçıftçı 2008, Gullu vd. 2003, Deakin 2006).



Şekil 2: Moledensky-Badakas Dönüşüm Modeli

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} + (1 + \Delta k) \begin{bmatrix} 1 & -\varepsilon_z & \varepsilon_y \\ \varepsilon_z & 1 & -\varepsilon_x \\ -\varepsilon_y & \varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_m \\ y - y_m \\ z - z_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

eşitliği ile dönüşüm parametreleri kestirilir. Bağıntıda geçen x_m, y_m, z_m ağırlık merkezinin koordinatlarıdır. Bu fonksiyonel model kullanılarak parametrelerin kestirimi yapılır (Deakin 1998, 2006).

2.3. Veis Dönüşüm Modeli

Veis tarafından 1960 yılında geliştirilen bu yöntemde de ek olarak yardımcı bir nokta kullanılmaktadır. Fakat fark dönüklüklerin yardımcı noktanın başlangıcına ötelenmesidir.

$$M = \begin{bmatrix} 1 & -\sin\varphi\varepsilon_x - \cos\varphi\varepsilon_z & \cos\varphi\sin\lambda\varepsilon_x + \cos\lambda\varepsilon_y - \sin\varphi\sin\lambda\varepsilon_z \\ \sin\varphi\varepsilon_x + \cos\varphi\varepsilon_z & 1 & -\cos\varphi\cos\lambda\varepsilon_x + \sin\lambda\varepsilon_y + \sin\varphi\cos\lambda\varepsilon_z \\ -\cos\varphi\sin\lambda\varepsilon_x - \cos\lambda\varepsilon_y + \sin\varphi\sin\lambda\varepsilon_z & \cos\varphi\cos\lambda\varepsilon_x - \sin\lambda\varepsilon_y - \sin\varphi\cos\lambda\varepsilon_z & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

şeklinde elde edilir (Üstün 1996, Başçiftçi 2008, Ayer 2008, Ziggah *et al.* 2013).

3. Afin Dönüşüm Modeli

Bu yöntemin benzerlik yöntemlerinden farkı dönüşüm parametre sayısıdır. Benzerlik yöntemlerinde 3 öteleme, 3 dönüklük ve 1 ölçek olmak üzere 7 parametre yerine Afin de 3 öteleme, 3 dönüklük ve 3 ölçek faktörü bulunmaktadır. Yani dönüşüm parametre sayısı 9 olmuştur. Benzerlik yöntemlerinde şekil korunur açılar değişmez. Fakat Afin yönteminde farklı eksenlerde farklı ölçek faktörü olduğundan şekil korunmamış olur. Afin dönüşüm modelinin fonksiyonel modeli ise;

Fonksiyonel model;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + (1 + \Delta k)M \begin{bmatrix} x - x_m \\ y - y_m \\ z - z_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

şeklinde elde edilmiş olur. Dengeleme işleminin sonucunda yine parametrelerin kestirimi yapılır (Leick, 1990). M dönüklük matrisi Ağırlık noktasının coğrafi koordinatları (φ, λ) ile;

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 + \Delta_1 & -\varepsilon_z & \varepsilon_y \\ \varepsilon_z & 1 + \Delta_2 & -\varepsilon_x \\ -\varepsilon_y & \varepsilon_x & 1 + \Delta_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (5)$$

şeklinde elde edilmiş olur (Başçiftçi 2008, Üstün 1996, Andrei 2006).

4. Uygulama

Bu çalışma için 15 adet Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktası seçilmiştir. Bu noktaların 10 tanesi dönüşüm parametrelerinin kestiriminde geriye kalan 5 nokta ise test amaçlı kullanılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Dönüşümde kullanılan nokta koordinatları

PARAMETRE KESTİRİMİNDE KULLANILAN NOKTALAR						
ITRF96			ED50			
N.No	Y [m]	X [m]	Z [m]	Y [m]	X [m]	Z [m]
1	4284861,931	2538541,110	3973109,010	4284947,199	2538630,823	3973234,417
2	4201184,690	2528524,731	4066866,008	4201270,025	2528614,539	4066991,308
3	4299501,236	2505062,226	3978556,005	4299586,423	2505151,942	3978681,378
4	4272461,050	2616187,214	3935905,446	4272546,480	2616276,901	3936030,956
5	4322917,187	2609899,178	3885322,285	4323002,553	2609988,816	3885447,843
6	4290148,202	2488873,730	3998465,504	4290233,368	2488963,465	3998590,843
7	4418921,703	2438194,087	3888315,820	4419006,635	2438283,716	3888441,233
8	4365617,137	2579609,728	3857311,647	4365702,400	2579699,338	3857437,209
9	4387629,038	2493404,563	3888738,782	4387714,111	2493494,195	3888864,240
10	4296762,968	2463101,038	4007371,009	4296848,076	2463190,779	4007496,317
TEST NOKTALARI						
11	4272859,808	2421209,177	4057249,465	4272944,860	2421298,966	4057374,686
12	4215603,138	2602510,120	4005097,586	4215688,602	2602599,874	4005223,012
13	4346000,446	2450877,271	3961390,281	4346085,479	2450966,967	3961515,627
14	4453142,026	2442527,123	3845873,502	4453226,931	2442616,717	3845998,962
15	4251372,878	2566687,782	3990718,545	4251458,235	2566777,517	3990843,957

Çizelge 2. Benzerlik dönüşümleri ve afin dönüşümü kullanılarak hesaplanan dönüşüm parametreleri

BENZERLİK DÖNÜŞÜMLERİ		
Parametre	BURSA-WOLF [m]	RMS [mm,"]
t_x	84.8531623637	10.0292171364
t_y	103.9680584587	10.0292171364
t_z	127.4470615818	10.0292171364
ε_x	-0.0000008294	0.0018168473
ε_y	0.0000000037	0.0003309397
ε_z	0.0000019371	0.0003896605
k	0.9999989525	0.0002735426

Parametre	MOLODENSKY-BADAKAS [m]	RMS[mm,"]
t_x	85.21280000	0.13893596
t_y	89.69093520	0.13893601
t_z	125.42279748	0.13893594
ε_x	-0.000000083	0.00037528
ε_y	0.00000000	0.00033141
ε_z	0.00000194	0.00039021
k	0.99999895	0.00132805

Parametre	VEİS [m]	RMS[mm,"]
t_x	85.21280000	0.14025781
t_y	89.69084920	0.14025778
t_z	125.42288458	0.14025784
ε_x	-0.00000065	0.00134072
ε_y	-0.00000042	0.00035974
ε_z	-0.00000196	0.00045249
k	0.99999895	0.00027654

Parametre	AFİN DÖNÜŞÜMÜ [m]	RMS[mm,"]
t_x	84.86079194	0.14444832
t_y	103.97212633	0.14444830
t_z	127.43603367	0.14444834
ε_x	-0.00000083	0.00044007
ε_y	0.00000000	0.00000000
ε_z	0.00000194	0.00000000
k_x	0.99999895	0.00433553
k_y	0.99999895	0.00057077
k_z	0.99999895	0.00077737

Dönüşüm parametreleri kestirilmiştir (Çizelge 2). Bu parametreler kullanılarak test noktaları dönüştürülmüştür.

Çizelge 3. Dönüştürülen koordinatlar ile bilinen koordinatlar arasındaki farklar (mm).

FARKLAR	Δx [mm]	Δy [mm]	Δz [mm]
Nokta No	BURSA-WOLF KESTİRİMİ İLE DÖNÜŞÜM FARKLARI		
11	0.24756	0.88714	0.17750
12	-0.38649	0.13903	-0.03659
13	0.45995	0.63568	0.47021
14	0.48522	-0.35014	0.94910
15	-0.19250	-0.69986	-0.55183
MAX	0.48522	0.88714	0.94910
MIN	-0.19250	0.13903	-0.03659
Nokta No	MOLODENSKY-BEDAKAS KESTİRİMİ İLE DÖNÜŞÜM FARKLARI		
11	0.22823	0.92908	0.17142
12	-0.40611	0.18062	-0.04283
13	0.44051	0.67763	0.46419
14	0.46572	-0.30809	0.94323
15	-0.21209	-0.65818	-0.55801
MAX	0.46572	0.92908	0.94323
MIN	-0.21209	0.18062	-0.04283
Nokta No	VEİS KESTİRİMİ İLE DÖNÜŞÜM FARKLARI		
11	0.23123	0.94176	0.18192
12	-0.42601	0.17612	-0.04911
13	0.45151	0.68753	0.48477
14	0.47523	-0.33706	0.95137
15	-0.21715	-0.65435	-0.57451
MAX	0.47523	0.94176	0.95137
MIN	-0.21715	0.17612	-0.04911
Nokta No	AFİN KESTİRİMİ İLE DÖNÜŞÜM FARKLARI		
11	0.14795	0.93112	0.23875
12	-0.37261	0.06423	-0.02411
13	0.39436	0.69504	0.48464
14	0.44136	-0.23789	0.90637
15	-0.19768	-0.74141	-0.53954
MAX	0.44136	0.93112	0.90637
MIN	0.14795	0.06423	-0.02411

11 ve 14 nolu noktalardaki farklar maksimum, 12 ve 15 nolu noktalarda ise minimum farklar karşımıza çıkmaktadır. Genelde yöntemler arasında anlamlı bir fark çıkmamasına rağmen gerek kestirilen parametreler gerekse dönüştürülen koordinatlar arasında küçük farklar çıkmıştır (Çizelge 3).

5. Sonuç

Özellikle GNSS teknolojisindeki gelişmeler jeodezik ağların yapısı ve özelliklerinde de değişimler meydana gelmiş, jeodezik altlık olarak farklı zamanlarda farklı datumlar kullanılmıştır. Bunun sonucu olarak datum dönüşümleri her zaman jeodezinin uygulamada önemli konularından birisi olmuştur. Ağların yapısına göre bu dönüşüm bazen iki boyutlu bazen de üç boyutlu olarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada 3D koordinat dönüşüm modelleri incelenmiş, ele alınan tüm yöntemler için sayısal uygulama gerçekleştirilmiştir. 7 parametrelilik benzerlik dönüşümlerinden Bursa-

Wolf, Molodensky-Badekas ve Veis yöntemi ile 9 parametrelilik Afin koordinat dönüşüm modeli açıklanmıştır. Seçilen her bir model için ortak noktalar EKK yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen parametreler ile test için seçilen noktaların her bir modele göre ikinci sistemdeki koordinatları dönüşüm parametreleri yardımıyla hesaplanmış, gerçek değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu farkların bütün yöntemler için mm değerinden daha küçük olduğu gözlenmiştir. Ancak parametrelere ilişkin ortalama hatalar incelendiğinde Bursa-Wolf yönteminde özellikle öteleme parametrelerinin ortalama hataları diğer yöntemlere göre çok daha yüksek elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre benzerlik yöntemlerinden Molodensky-Badekas ya da yeterli ortak nokta var ise Afin yönteminin seçilmesinin daha uygun olacağı söylenebilir.

6. Kaynaklar

- Andrei, O.C. 2006, 3D affine coordinate transformations, Masters of Science Thesis in Geodesy No. 3091 TRITA-GIT EX 06-004, School of Architecture and the Built Environment, Royal Institute of Technology (KTH), 100 44 Stockholm, Sweden.
- Ayer, J., and Tiannah, T., 2008, Datum transformation by the iterative solution of the Abridging inverse Molodensky formulae., *The Ghana Surveyor* 1 ,59-66.
- Ayer, J. ,2008, Transformation models and procedures for framework integration of Ghana geodetic network., *The Ghana Surveyor* 1,52-58.
- Başçıftci F., 2008, Jeodezide kullanılan dönüşüm yöntemlerinin programlanması, Yüksek lisans tezi, SÜ, 111
- Deakin, R.E., 1998, 3D coordinate transformations., *Surv. Land Inf. Sys.* **58**, 223-234.
- Deakin, R.E., 2006, A Note on the Bursa-Wolf and Molodensky-Badekas Transformations, School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University, 1-21.
- Güllü M., Yılmaz İ., Erdoğan O. A., 2003, Jeodezik Ağ Tasarımı, Afyon Kocatepe Üniversitesi yayınları.
- Güllü M., 2016, Jeodezik koordinat dönüşümünde esnek hesaplama modeli, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **16 (3)**, p.655-659.
- Güllü M., Yılmaz M., Baybura T., 2017, Comparative Analysis of Least-squares Approaches for 3D Datum Transformation in Western Turkey, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **17(3)**, p.1019-1029.
- Lan D., Hanwei Z., Quingyong Z., Ruopu W., 2012, Correlation of coordinate transformation parameters, 3 (1), 34-38.
- Leick, A., 1990. GPS Satellite Surveying, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons.
- Pektekin A., 1989, Dönüşümler ve seçmeli noktalara göre programlanması, Türkiye II. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 6-10 Ocak, Ankara.
- Üstün A., 1996, Datum Dönüşümleri , Yüksek lisans Tezi, YTÜ, 87.
- Ren Y., Lin J., Zhu J., Sun B. and Ye S., 2015, Coordinate transformation Uncertainly Analysis in Large-Scale Metrology, *Transactions on instrumentation and measurement*, **64 (9)**,2380-2388.
- Ziggah Y. Y., Youjian H., Odutola C. A., Nguyen T. T., 2013, Accuracy assessment of centroid computation methods in precise GPS coordinates transformation parameters determination - a case study, GHANA, *European Scientific Journal*, **9(15)**, 200-220.
- Wolf R. P. ve Ghilani D. C., 1997, Adjustment computations: statistics and least squares in surveying and GIS, Wiley, New York, USA.