

Geomatik Mühendisliği Uygulamalarında Dönüşüm Yöntemleri

Mohsen Feizabadi, Mustafa Serkan Işık, Cengizhan İpbüker*

Istanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, 34469 Ayazağa, İstanbul, Türkiye

Özet

Mekânsal verinin kullanım amacına bağlı olarak günümüze kadar çeşitli koordinat sistemleri tanımlanmıştır. Farklı sistemlerden üretilen verilerin birlikte kullanımı gereksinimi, aralarındaki dönüşüm problemini de beraberinde getirmiştir. Kullanılan veri setinin özelliklerine ve yapılan uygulamanın amacına bağlı olarak, en uygun koordinat dönüşümü yöntemi de değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, farklı koordinat dönüşüm yöntemlerinin teorik ve sayısal karşılaştırmalarının yapılması amaçlanmıştır. Benzerlik Dönüşümü, Afin Dönüşüm, 2. Derece Polinom Dönüşümü, Kübik Splayn Dönüşümü, Multikvadrik Dönüşümü ve Kriging yöntemleri kullanılarak iki sistem arasında koordinat dönüşüm yapılmıştır. Kullanılan 42 eşlenik nokta arasında uyum testi uygulanarak kaba hatalar veriden çıkarılmıştır. Böylece, veri setinin kalitesin koordinat dönüşümü yöntemlerinin doğruluğuna etkisi incelenmiştir. Sayısal uygulama sonucunda Hardy'nin multikvadrik yöntemi ve Afin Transformasyonu en başarılı yöntemler olmuşlardır.

Anahtar Sözcükler

Mekansal Veri, Dönüşüm, Doğruluk Analizi, Hata Analizi, transformasyon

1. GİRİŞ

Koordinat dönüşümü bir sistemdeki verilerin başka bir sisteme her iki sistemde de ortak olarak alınmış kontrol noktaları kullanılarak aktarılmasıdır. Literatürde, koordinat dönüşümü amacıyla kullanılan farklı yöntemler mevcuttur ve bu yöntemler kullandıkları parametre sayılarına ve veriyi değerlendirme şekillerine göre farklılık göstermektedir (Yaron ve Moshe 2009).

Geomatik Mühendisliği uygulamaları içerisinde özellikle konum bilgilerinin “Dönüşüm” problemi mekânsal verinin kullanım amacına bağlı olarak en yaygın karşılaşılan problemler arasındadır. Farklı sistemlerde üretilen koordinat bilgilerinin ortak bir sistemde birlikte kullanımı gereksinimi özellikle CBS'ne yönelik veri tabanlarının oluşturulmasında önem taşır. Kullanılan veri setinin özelliklerine, uygulama alanı ve amaca bağlı olarak, uygun dönüşüm yöntemini seçme, problemin öncelikli kısmını oluşturur.

Bu çalışmada, kullanılan veri setinin kalitesine bağlı olarak seçilen 6 farklı koordinat dönüşümü yönteminin doğruluğuna etkisi incelenmiştir. Ayrıca, koordinat dönüşümü yöntemlerinin hem teorik hem de sayısal olarak karşılaştırılması yapılarak birbirlerine üstünlükleri irdelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan 42 noktadan oluşan veri setine uygulanan uyum testi ile kaba hatalar elemine edilmiştir. Benzerlik Dönüşümü, Afin Dönüşüm, 2. Derece Polinom Dönüşümü, Kübik Splayn Dönüşümü, Multikvadrik Dönüşümü ve Kriging yöntemleri kullanılarak iki farklı koordinat sistemi arasında geometrik dönüşüm yapılmıştır. Yöntemler arasında bir doğruluk analizi yapabilmek amacıyla test noktalarının Karesel Ortalama Hatası (RMSE) hesaplanmıştır.

2. Yöntemler

Çalışmada kullanılan 6 koordinat dönüşümü yöntemlerinin teorileri bu bölümde verilmektedir.

2.1. Benzerlik Dönüşümü

Benzerlik dönüşümü kullanılan sistemler arasında diklik koşulu arar. X ve Y eksenleri boyunca aynı büyüklükte ölçek faktörü kullanılır. Böylece, dönüşüm sonrasında sistemdeki açılar ve şekiller korunmuş olur. Dönüşüm parametreleri X ve Y eksenleri yönünde kayma, dönme ve ölçek olmak üzere dört tanedir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \lambda R_{\alpha} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix}$$

(1)

Şiştilikte T_x ve T_y sırasıyla X ve Y eksenleri yönünde kaymayı, R_α X ve Y eksenlerinde dönmeyi ve λ ölçek faktörünü ifade etmektedir.

* Sorumlu Yazar: Tel: .05422859855.. Faks: .0212 2853414

E-posta: feizabadi@itu.edu.tr (Feizabadi, M), isikm@itu.edu.tr (Işık, M. S.), ipbucker@itu.edu.tr (İpbüker, C.)

Eşitlik 1 açık bir şekilde yazılırsa:

$$\begin{cases} X = ax - by + c \\ Y = bx + ay + d \end{cases} \quad (2)$$

eşitliği elde edilir ve burada $\{x, y\}$ birinci sistem koordinatları, $\{X, Y\}$ ikinci sistem koordinatları ve a, b, c ve d benzerlik dönüşüm parametreleridir (King 1984).

2.2. Afin Dönüşümü

Afin koordinat dönüşümünde, farklı koordinat sistemleri arasında diklik koşulu aranmaz. Ancak dönüşüm sonrası geometrik dağılımda bozulma meydana gelir ve bu bozulmalar farklı eksenler boyunca eşit olarak gerçekleşmez. Bu sebepten, afin dönüşümü fotogrametrik ve kartografik çalışmalar için uygun koordinat dönüşüm yöntemlerinden biridir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \varepsilon \\ 0 & 1 \end{bmatrix} R_\alpha \begin{bmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

Eşitlikte $\begin{bmatrix} 0 & \varepsilon \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ eksenler arası diklik faktörü, λ_x ve λ_y X ve Y eksenleri yönünde ölçek, T_x ve T_y X ve Y eksenleri yönünde kayma ve R_α X ve Y eksenleri yönünde dönmedir. Eşitlik 2 açık bir şekilde yazıldığında:

$$\begin{cases} X = a_0 + a_1x + a_2y \\ Y = b_0 + b_1x + b_2y \end{cases} \quad (4)$$

eşitliği elde edilir ve burada $\{x, y\}$ birinci sistem koordinatları, $\{X, Y\}$ ikinci sistem koordinatları ve a_0, a_1, a_2, b_0, b_1 ve b_2 Afin dönüşüm parametreleridir (Conte ve DeBoor 1981, Schwarz 1989).

2.3. II. Derece Polinom Dönüşümü

Polinom dönüşüm yöntemi iki sistem arasındaki geometrik bağıntı Eşitlik 4'deki verilen lineer bir bağıntı ile sağlar. Ancak eşitlikte kullanılan parametre sayısı arttıkça oluşturulan modelde sistematik hata birikmeye başlar ve RMSE artar. Bu yüzden, kullanılan veri setine ve uygulamaya en uygun polinom derecesi seçilmelidir.

$$f(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy + \dots \quad (5)$$

Eşitlik 4'ün altıncı terime kadar açılması ile II. Derece polinom dönüşümü elde edilir.

$$\begin{cases} X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy \\ Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4y^2 + b_5xy \end{cases} \quad (6)$$

Eşitliklerde $\{x, y\}$ birinci sistem koordinatları, $\{X, Y\}$ ikinci sistem koordinatları ve $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$ ve b_5 polinom katsayıları dönüşüm parametreleridir (Conte ve DeBoor 1981, King 1984).

2.4. Kübik Splayn Dönüşümü

Kübik Splayn dönüşümü yöntemi şu şekilde formülize edilebilir:

$$\begin{cases} X = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy + a_6x^3 + a_7y^3 + a_8x^2y + a_9xy^2 \\ Y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4y^2 + b_5xy + b_6x^3 + b_7y^3 + b_8x^2y + b_9xy^2 \end{cases}$$

(7)

Eşitliklerde $\{x, y\}$ birinci sistem koordinatları, $\{X, Y\}$ ikinci sistem koordinatları ve $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8$ ve b_9 polinom katsayıları dönüşüm parametreleridir (Bretterbauer 1994).

2.5. Multikvadrik Dönüşümü

Multikvadrik dönüşüm 1968 de Roland Hardy tarafından geliştirilmiş radyal temel fonksiyon enterpolasyon yöntemidir.

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j q(x_j, y_j, x, y) \quad (8)$$

Eşitlikte Z , x ve y 'ye bağlı fonksiyon ve C multikvadrik dönüşüm parametreleri. Eşitlik 8 hiperbolit serilerin toplamı olarak da şu şekilde ifade edilebilir:

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j \sqrt{((x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 + K)} \quad (9)$$

Formüle K modeli temsil eden yüzeyi düzleştiren sabit değerdir ve sıfır alınmıştır. Böylelikle Eşitlik 9 n tane lineer denkleme dönüştürülebilir.

$$Z_i = \sum_{j=1}^n c_j \sqrt{((x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2)} \quad , i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Bu eşitlikle multikvadrik katsayılar matrisi A elde edilir. $C = A^{-1}Z$ eşitliği çözülerek multikvadrik yüzey oluşturulur ve her bir test noktası için Z_i türetilir (Hardy 1971, Hardy 1972, Hardy 1990, İpbüker, 2005).

2.5. Kriging Dönüşümü

Kriging dönüşüm yöntemi jeo-istatistiksel bir enterpolasyon yöntemidir.

$$dX = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot dx_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad dY = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot dy_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (11)$$

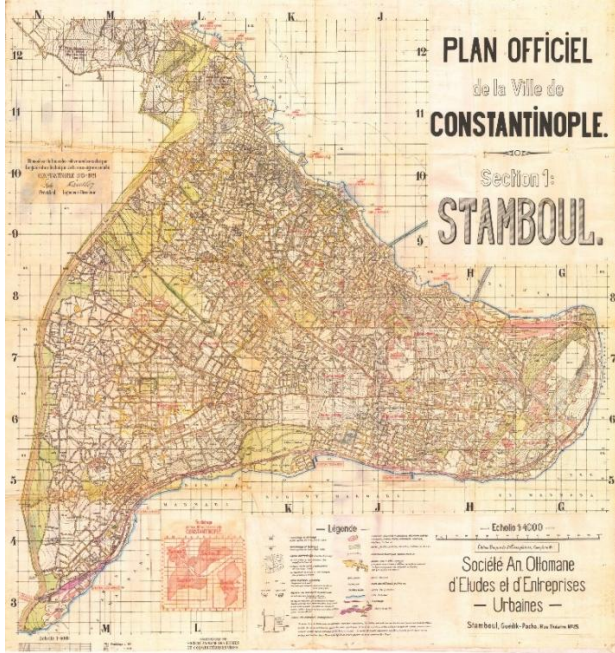
Kriging enterpolasyonu gözlem noktası ve hesap noktası arası mesafeye bağlı ağırlıklandırma uygular (Press vd. 1989).

$$w = \frac{1}{dr} \quad (12)$$

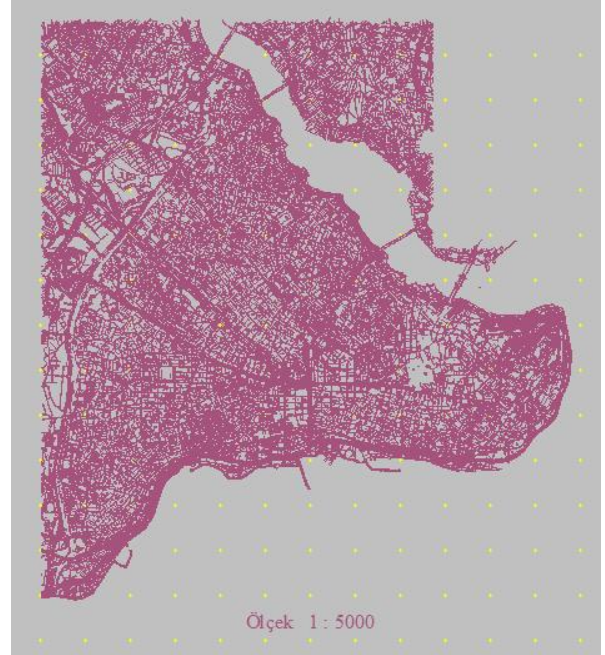
Eşitlikte w ağırlıktır ve tüm ağırlıkların toplamı 1'e eşittir. dr ise uzaklığı ifade eder ve şu şekilde hesaplanır:

$$dr = \sqrt{((x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2)} \quad (13)$$

3. Veri Seti



(a)



(b)

Şekil 1. Tarihi Yarımada'ya ait eski (a) ve yeni (b) harita

Uygulama altlığı olarak İstanbul'da Tarihi Yarımada'ya ait Mühendis Hausley'in Stambouli isimli 1913 tarihli ve 1:4000 ölçekli bir plan ile 1:5000 ölçekli güncel haritalardan mozaiklenmiş bir sayısal altlık kullanılmıştır (Şekil 1a ve Şekil 1b). Her iki altlık üzerinden ekrandan sayısallaştırma yöntemi ile 42 eşlenik noktadan oluşan lokal ve jeodezik koordinat veri seti oluşturulmuştur (Tablo 1). Bu veri setinden homojen seçilen 30 adet nokta kontrol noktası olarak kullanılmıştır. Geriye kalan 12 nokta test noktası olarak ayrılmıştır (Şekil 2).

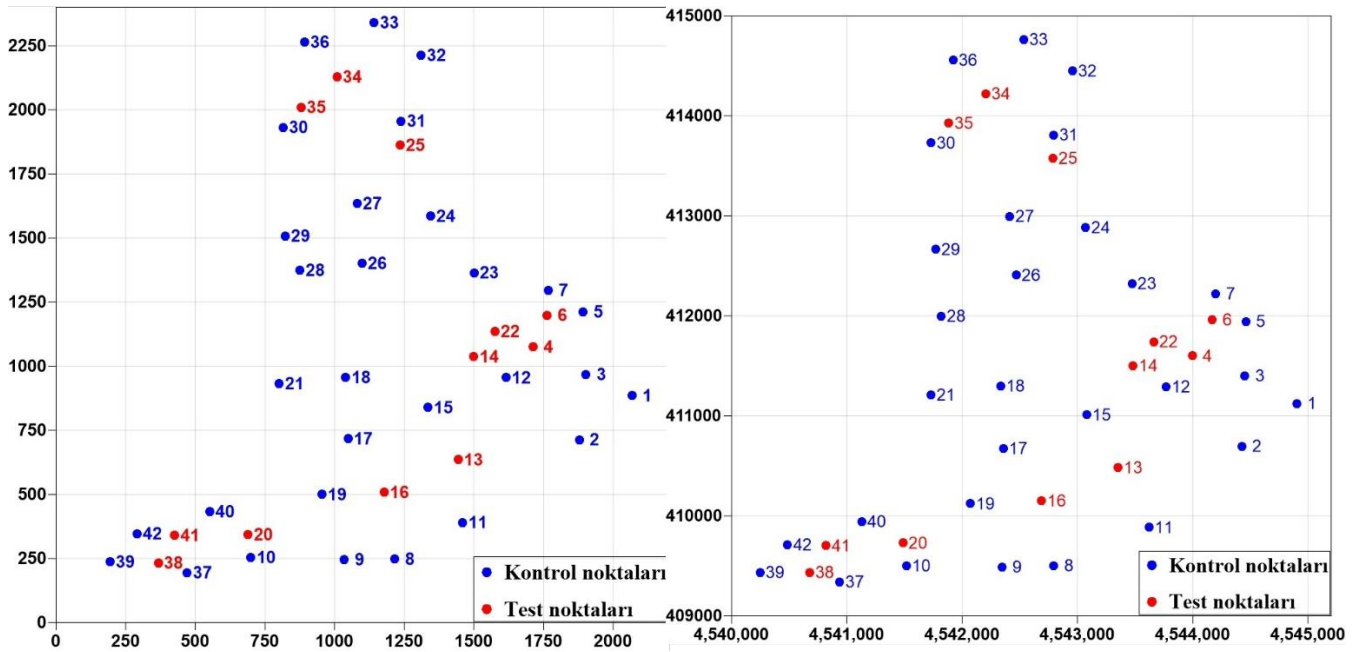
Tablo 1. Eşlenik nokta koordinatları

Nokta No.	1. Sistem		2. Sistem		Nokta No.	1. Sistem		2. Sistem	
	Y	X	Y	X		Y	X	Y	X
1	885.227	2067.833	411124.261	4544904.235	22	1136.03	1575.845	411740.911	4543660.732
2	713.511	1878.284	410697.05	4544427.375	23	1364.854	1500.452	412323.677	4543473.398
3	967.894	1902.833	411401.06	4544453.692	24	1585.583	1344.484	412881.793	4543072.662
4	1075.432	1712.441	411598.971	4543996.596	25	1861.918	1235.112	413575.884	4542789.033
5	1212.692	1891.521	411944.327	4544459.853	26	1401.339	1098.422	412406.583	4542468.77
6	1199.212	1762.781	411961.14	4544169.901	27	1635.008	1080.887	412995.658	4542413.87
7	1296.665	1766.839	412221.577	4544198.844	28	1374.482	875.762	411998.231	4541818.929
8	248.14	1215.819	409501.768	4542796.139	29	1508.213	822.733	412664.112	4541771.441
9	245.893	1034.837	409489.413	4542347.018	30	1931.914	815.796	413728.221	4541730.439
10	254.266	699.413	409500.351	4541515.519	31	1956.314	1238.845	413809.433	4542794.391
11	390.683	1459.379	409883.543	4543621.093	32	2213.005	1310.688	414449.749	4542957.453

12	955.535	1615.12	411290.244	4543767.995	33	2340.281	1142.079	414765.202	4542534.092
13	635.423	1443.616	410482.763	4543353.371	34	2128.762	1008.665	414221.911	4542205.97
14	1037.143	1500.12	411503.386	4543483.57	35	2010.371	879.524	413926.69	4541885.038
15	838.854	1335.525	411009.974	4543079.562	36	2264.563	892.26	414558.181	4541921.126
16	508.61	1177.624	410149.217	4542690.454	37	194.704	471.132	409339.834	4540939.074
17	717.106	1048.011	410673.407	4542355.909	38	232.743	366.93	409435.008	4540678.562
18	956.994	1040.369	411298.603	4542332.591	39	236.744	193.811	409435.013	4540247.091
19	499.445	954.254	410121.327	4542071.092	40	433.093	551.891	409942.72	4541128.454
20	343.754	689.69	409728.342	4541487.071	41	339.872	426.335	409700.652	4540820.071
21	932.173	801.452	411208.915	4541730.293	42	346.854	290.908	409710.243	4540485.952

4. Metodoloji

Bölüm 2’de teorik açıklamaları verilen enterpolasyon yöntemleri veri setine uygulanarak koordinat dönüşümü uygulanmıştır. Koordinat dönüşümünü gerçekleştirmek için hem Python hem de Matlab dilinde yazılan kodlar kullanılmıştır. Her iki platformda da programlar koşturulduğunda aynı sonuçlar elde edilmiştir. İki sistemde de koordinatları bulunan 42 noktadan homojen seçilen 30 adet kontrol noktaları ile dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Kalan 12 nokta test noktaları olarak kullanılıp her bir yöntem için karesel ortalama hatanın hesaplanmasında kullanılmıştır. Uygulanan yöntemlerin karesel ortalama hataları sırasıyla 22.76 m (Benzerlik), 24.13 m (Afin), 24.00 m (II. Derece Polinom), 34.01 m (Kübik Splayn), 25.71 m (Multikuadrik), ve 23.63 m (Kriging) olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu ilk dönüşüm sonucunda elde edilen doğruluk değerlerinin oldukça düşük çıkması nedeniyle eşlenik noktalar arasında bir uyum testi yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 2. Veri setinin birinci koordinat sisteminde (a) ve ikinci koordinat sisteminde dağılımı

Veri setindeki kaba hatalı noktaların tespit edilip ayıklanabilmesi için uzaklığa bağlı 2 test modeli önerilmiştir. Bu modellerden birincisinde tüm noktalar arasından en güney ve en batı koordinatlar orijin kabul edilmiştir. Sistemdeki koordinatlardan orijin noktasının koordinatları çıkartılarak veri seti orijine indirgenmiştir.

$$\begin{cases} X_{yeni} = X_{eski} - X_{min} \\ Y_{yeni} = X_{eski} - Y_{min} \end{cases} \quad (14)$$

Eşitlikte X_{min} ve Y_{min} en güney ve en batı koordinatları belirtmektedir.

İkinci modelde ise veri setindeki tüm X ve Y koordinatlarının ortalaması alınmış ve bu nokta merkez kabul edilerek tüm koordinatlardan bu fark çıkartılarak veri seti merkeze indirgenmiştir.

$$\begin{cases} X_{yeni} = X_{eski} - X_{ort} \\ Y_{yeni} = X_{eski} - Y_{ort} \end{cases} \quad (15)$$

Eşitlikte X_{ort} ve Y_{ort} sistemin merkez koordinatlarını, yani ortalamalarını ifade etmektedir.

Yeni modellerdeki her bir nokta için karşılıklı uzaklıklar hesaplanmış ve iki sistem arasında bir ortalama ölçek faktörü belirlenerek uzaklık değerleri bu oran ile çarpılarak ölçeklendirilmiştir.

$$S_i = \sqrt{(X_i - X'_{orijin})^2 + (Y_i - Y'_{orijin})^2} \quad (16)$$

Eşitlikte, X ve Y birinci sistemdeki nokta koordinatlarını, X'_{orijin} ve Y'_{orijin} birinci sistemin yeni merkez koordinatlarını ve S noktanın orijine olan uzaklığını belirtmektedir.

$$S_j = \sqrt{(X_j - X''_{orijin})^2 + (Y_j - Y''_{orijin})^2} \quad (17)$$

Eşitlikte, X ve Y_j ikinci sistemdeki nokta koordinatlarını, X''_{orijin} ve Y''_{orijin} ikinci sistemin yeni merkez koordinatlarını ve S noktanın orijine olan uzaklığını belirtmektedir.

$$\lambda = \frac{S_i}{S_j} \quad (18)$$

Eşitlikte λ iki sistemdeki uzaklıklar arasındaki ölçek faktörüdür. Ölçeğe bağlı olarak, uzaklıklar homojenleştirilmiştir. Homojen uzaklıkların farklarının Karesel Ortalama Hatasının hesaplanarak 3-sigma güven aralığı dışında kalan 6, 7, 11 ve 28 no'lu noktalar veri setinden çıkarılmıştır (Yaron ve Moshe 2009).

5. Uygulama

Veri setine yapılan uyuşum testi sonucu elde edilen 38 noktalı yeni veri setiyle koordinat dönüşümü yöntemleri tekrarlanmıştır. Her bir yönteme ait dönüşüm parametreleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Dönüşüm parametreleri

Benzerlik		Kübik Splayn		Multikuadrik							
a	2.51039886	a0	4539808.405	a1	-0.02553	b1	0.05417	a25	0.00647	b25	-0.01035
b	0.03863368	a1	2.44661118	a2	-0.00172	b2	0.01085	a26	-0.00864	b26	-0.00222
c	4539754.818	a2	-0.1682849	a3	0.07514	b3	-0.15143	a27	-0.00557	b27	0.01311
d	408840.831	a3	2.42821e-05	a4	-0.03215	b4	0.05595				
Afin		a4	9.33071e-05	a5	-0.00300	b5	-0.00324				
a0	4539766.310	a5	7.57725e-05	a6	-0.02984	b6	-0.00129				
a1	2.4943818	a6	-1.5181e-08	a7	-0.03443	b7	-0.00505				
a2	-0.03259827	a7	-1.7761e-08	a8	-0.01237	b8	0.05391				
b0	408829.685	a8	-4.4074e-09	a9	-0.00921	b9	-0.02320				
b1	0.04257103	a9	-2.0219e-08	a10	-0.03672	b10	0.01986				
b2	2.51670525	b0	408843.971	a11	0.00176	b11	-0.02491				

II. Derece Polinom	b1	0.01063552	a12	0.10567	b12	0.00516	
a0	4539775.693	b2	2.46600973	a13	-0.00212	b13	0.01019
a1	2.47638133	b3	1.05872e-05	a14	-0.00055	b14	0.00450
a2	-0.03709345	b4	9.66532e-06	a15	0.00549	b15	-0.00736
a3	3.65334e-06	b5	9.73653e-05	a16	-0.00517	b16	0.00559
a4	-2.16650e-	b6	-2.7377e-08	a17	-0.00328	b17	-0.00066
a5	1.06588e-05	b7	-1.6315e-08	a18	-0.00161	b18	0.00110
b0	408823.165	b8	-9.6553e-10	a19	0.01096	b19	-0.00266
b1	0.04651687	b9	-3.4447e-10	a20	-0.00478	b20	-0.00526
b2	2.53278638			a21	0.01041	b21	0.00459
b3	-4.30016e-			a22	0.0047	b22	-0.00982
b4	-8.04563e-			a23	-0.01382	b23	0.00783
b5	3.16514e-06			a24	0.01286	b24	-0.00225

Tablo 3. Dönüşüm sonrası nokta koordinatları

Nokta No	Benzerlik		Afin		2.DerecePolinom	
4	411606.753	4544012.180	411609.131	4544002.735	411610.575	4544004.295
13	410491.769	4543354.321	410490.314	4543346.526	410490.401	4543343.583
14	411502.429	4543480.649	411503.730	4543474.373	411506.400	4543474.565
16	410163.141	4542691.474	410159.840	4542687.174	410159.996	4542683.963
20	409730.436	4541472.934	409724.174	4541475.454	409723.657	4541474.886
22	411753.600	4543666.928	411755.823	4543660.037	411758.394	4543661.304
25	413562.705	4542783.509	413568.164	4542786.456	413569.286	4542787.810
34	414223.842	4542204.727	414230.092	4542212.912	414227.745	4542211.355
35	413921.644	4541885.106	413926.639	4541894.644	413925.671	4541892.075
38	409439.285	4540666.967	409431.051	4540673.987	409428.977	4540677.003
41	409710.517	4540811.958	409703.193	4540818.673	409702.567	4540820.812
KOH	12.427		10.709		11.290	
Nokta No	Kübik Spline		Multikuadrik		Kriging	
4	411611.816	4544005.435	411614.187	4544001.402	411610.521	4544004.317
13	410492.807	4543342.322	410489.873	4543348.990	410490.316	4543343.617
14	411509.370	4543475.454	411500.159	4543481.432	411506.339	4543474.590
16	410160.330	4542681.221	410156.777	4542675.292	410159.893	4542684.005
20	409722.132	4541472.303	409724.027	4541474.467	409723.459	4541474.966
22	411760.563	4543663.236	411752.084	4543666.151	411758.334	4543661.329
25	413570.519	4542793.693	413572.195	4542788.816	413569.237	4542787.830
34	414229.698	4542214.577	414228.317	4542211.351	414227.692	4542211.376
35	413926.304	4541897.788	413926.777	4541890.068	413925.616	4541892.097
38	409430.850	4540680.466	409429.884	4540678.708	409428.342	4540677.261
41	409701.199	4540817.509	409701.508	4540822.165	409701.938	4540821.068
KOH	13.422		10.481		10.996	

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, 6 farklı koordinat dönüşüm yönteminin koordinat doğruluğuna etkisi incelenmiştir. Benzerlik, Afin, 2. Derece Polinom, Kübik Splayn, Multiküadrik ve Kriging yöntemlerinin hem teorik hem de sayısal karşılaştırması verilmiştir. 42 noktadan oluşan veri setinden homojen seçilen 30 adet kontrol noktaları ile dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır ve bu parametrelerde kalan 12 nokta için koordinat dönüşümü yapıp her bir yöntem için karesel ortalama hata hesaplanmıştır. Uygulanan yöntemlerin doğruluklarının düşük olması sebebiyle veri setine uyum testi yapılarak kaba hatalar tespit edilmiş ve çıkarılmıştır. 27 kontrol noktasının ve 11 test noktasının oluşturduğu yeni veri setiyle tekrar koordinat dönüşümü yöntemleri uygulanmıştır.

Test noktaları ile dönüşüm sonrası yapılan doğruluk analizi sonucunda her bir yöntem için farklı doğruluk değerleri elde edilmiştir. 12.43 m (Benzerlik), 10.71 m (Afin), 11.29 m (2. Derece Polinom), 13.42 m (Kübik Splayn), 10.48 m (Multiküadrik), ve 11.00 m (Kriging) olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar irdelendiğinde Hardy'nin multiküadrik yöntemi ve Afin Transformasyon başarılı yöntemler olarak sıralamanın başına yerleşmişlerdir.

Kaynaklar

- Bretterbauer, K., (1994) Ein Berechnungsverfahren für die Robinson-Projektion, *Kartographische Nachrichten*, 6/94, pp. 227-229
- Conte, S.D., C., DeBoor (1981) Elementary Numerical Analysis-An Algorithmic Approach, Auckland, Mc Graw-Hill Book, 432 p.
- Hardy, R., (1971) Multiquadric Equations of Topography and Other Irregular Surfaces, *Journal of Geophysical Research*, 76/8
- Hardy, R., (1972) Geodetic Applications of Multiquadric Analysis, *AVN*, Vol.79
- Hardy, R., (1990) Theory and Applications of the Multiquadric-biharmonic Method, *Computers Math. Applic.*, Vol.19, No.8/9
- İpbüker, C., (2005) *A Computational Approach To The Robinson Projection*, Survey Review 2013; 38(297), 204-217.
- King, J.T., (1984) Introduction to Numerical Computation, New York, Mc Graw-Hill, 335 p.
- Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. (1989) Numerical Recipes-The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, 702 p.
- Schwarz, H.R., (1989) Numerical analysis: a comprehensive introduction (by J. Waldvogel, Chichester, New York, Wiley, 517 p.
- Yaron A. F., Moshe F., (2009) *On Choosing the Right Coordinate Transformation Method*, FIG Working Week, Eilat, Israel, 3-8 May 2009

https://www.fig.net/pub/fig2009/papers/ts04c/ts04c_felus_felus_3313.pdf