

YAPISAL İZLEME ANALİZLERİNDE ÇOK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİĞİ YAKLAŞIMI

H. Pehlivan¹, Ö. Aydın²

¹Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 41400, Gebze, Kocaeli. hpehlivan@gyte.edu.tr

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, Davutpaşa, İstanbul. oaydin@yildiz.edu.tr

ÖZET

Yapı hareketlerinin incelenmesinde; duyarlılıkları farklı, örnekleme aralıkları eşit ve korelasyonlu çok sayıda değişkenin analizi söz konusudur. Yapının hareket sürecini modelleyen zaman serilerini birlikte değerlendirmenin bir yöntemi de çok değişkenli kontrol istatistiğidir. Çok değişkenli istatistik ile bir sürece ait değişkenlerin hangi zaman diliminde nasıl değiştiği ve süreci nasıl etkilediği belirlenebilmektedir. Her bir serinin tek değişkenli grafiğini incelemek yerine bir tane çok değişkenli kontrol grafiğini oluşturmak kullanılan farklı bir yaklaşımdır. Çok değişkenli kontrol yöntemleri değişkenler arasındaki korelasyonu da dikkate aldığı için tercih edilen bir yöntemdir. Bu çalışmada; GPS, eğim ölçer ve anemometre aletleri kullanılarak, 21-29 Kasım 2007 tarihleri arasında kayıt edilen, konum-eğim değişimi, rüzgar ve sıcaklık değişkenleri kullanılmıştır. Bu verilerden, çoklu istatistik analiz yöntemi olan Hotelling'in T^2 istatistiğine dayanılarak, çok değişkenli kontrol grafiği oluşturulmuştur. Çalışmada MATLAB® 7.0 ortamında hazırlanan bir algoritma geliştirilmiştir. Hazırlanan çok değişkenli kontrol grafiğinden, 23, 26, 27 ve 29. günlerde önemli olayların gerçekleştiği anlaşılmıştır. Çok değişkenli kontrol grafiklerinin, yapı hareketlerinin gerçek zamanlı izlenmesinde, Coğrafi Bilgi Sistemi kapsamında bir yöntem olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Hotelling's T^2 , Çok Değişkenli Kontrol Grafiği, Yapısal İzleme, GPS

MULTIVARIATE GRAPHIC CONTROL APPROACH IN ANALYSIS OF MONITORING STRUCTURAL

ABSTRACT

In the research of building movements, the analysis of variables which have different sensitiveness, sampling intervals and are correlated is the case. One of the methods to evaluate the time series together which is modeling the movement process of the building is the multivariable control statistics. With the help of multi variable statistics, the variation of variables in any process in any time interval and its effects on the process can be determined. The use of a multivariable control graphic is an alternative approach instead of examining the single variable graphics of each series. The multivariable control methods is the preferred one since the correlation between the variables is considered. In this research, the position-slope variation, wind and temperature variables which were recorded by GPS, inclinometer and anemometer between 21th and 29th of November at 2007 were used. A multivariable control graphic was formed by these data with the help of the Hotelling's T^2 multi statistics analysis technique. A algorithm was also developed with the use of MATLAB® 7.0. It was seen that the multivariable control graphic had presented some important events which happened at 23rd, 26th, 27th and 29th days. It is concluded that the multivariable control graphics should be used as a method within the context of Geographical Information System to monitor the real time building movements.

Keywords: Hotelling's T^2 , multivariable control graphic, structural monitoring, GPS

1. GİRİŞ

Büyük ölçekte ve kritik öneme sahip mühendislik yapıları bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de yaygınlaşmaktadır. Bu yapıların dinamik davranışlarını izlemek ve hakkında yargılara varmak için sürekli ya da periyodik ölçümler yapılması gerekmektedir. Mühendislik yapılarının hareketlerini etkileyen etki ve tepki yüklerinin zamana göre değişimi; jeodezik, geoteknik ve meteorolojik ölçme aletleri kullanılarak belirlenebilmektedir. Yapının hareket sürecini modelleyen birbiri ile korelasyonlu bu zaman serilerinin analizi konusunda farklı yaklaşımlar ve çözüm teknikleri kullanılmıştır.

Tek değişkenli kontrol grafikleri (Shewhart grafikleri), bir süreci modelleyen her bir zaman serisinin hata ve trend bileşenleri için incelenmesinde kullanılan en basit yöntemdir. Ancak bu durumda, diğer değişkenlerin etkisi ya da değişkenler arasındaki ilişki göz ardı edilmektedir. Bu durum çok sayıda grafik incelenmesine neden olmakta ve değişkenler arasındaki ilişki (korelasyon) yok sayılacağından değişkenlerin hatalı yorumlanmasına da neden olmaktadır (Barbara ve Linda, 1989, Morrison, 1990, Barnett 1994). Gözlemlenen bir süreçteki ani değişimleri belirlemek ve hata kaynaklarını ortaya çıkarmak için yaygın şekilde kullanılan çok değişkenli kontrol grafiği yöntemi, Hotelling'in T^2 grafiğidir. Harold Hotelling tarafından geliştirilen Hotelling T^2 çok değişkenli kontrol grafiği, hesaplamaların basitliği nedeniyle 1947'den beri kullanılan bir yöntemdir. Tek değişkenli

çizelgelerin yakalayamadığı kontrol dışı noktaları Hotelling'in T^2 çizelgesi ile yakalamak mümkündür. T^2 istatistiği, tek değişkenli student-t istatistiğinin çok değişkenli duruma genişletilmiş halidir. Çok değişkenli normal dağılıma sahip ortalama vektörünün bir sabit değere eşit olup olmadığının test edildiği hipotez testlerinde kullanılır. Bu istatistiğin Hotelling'in T^2 çizelgelerine uyarlanması ile ortalama vektöründeki kayma belirlenir. Bir sürece ait çok değişkenli gözlem değerlerinden bir T^2 istatistik değeri üretildiğinde; bu değerler zaman sırasıyla Hotelling T^2 çizelgelerinde gösterilir. Hotelling T^2 çizelgelerinde, değişkenler arasındaki korelasyon yapısını hesaba katan T^2 istatistiğine dayalı eliptik bir kontrol bölgesi kullanılmaktadır (Ogaja vd., 2006). Korelasyon yapısını dikkate alan bu çizelgeler, kontrol dışı durumları doğru şekilde saptamaktadır, ancak çok değişkenli gözlem değerlerinin tek bir T^2 değerine indirgenmesi Hotelling'in T^2 çizelgelerinin yorumunu zorlaştırmaktadır (Mason, 2001). Hotelling'in T^2 çizelgelerinin önemli bir dezavantajı süreçte kontrol dışı durumu doğru şekilde belirlemesine rağmen hangi değişken ya da değişken grubunun kontrol dışı olduğu konusunda bilgi vermemesidir (Tracy vd., 1995).

2. ÇOK DEĞİŞKENLİ KONTROL GRAFİK HESAPLAMALARI

Genel olarak denetim grafikleri iki aşamada gerçekleştirilir. Birinci aşamada sürece ait tüm serilerin istatistiksel kontrolü yapılır ve kontrol sınırları bulunur. Bu aşamada sürecin normal dağılımlı ve sabit değişimli olduğu kabul edilir. Süreç ortalama vektörü ve varyans-kovaryans matrisi tahmin edildikten sonra çizelgenin üst kontrol sınırı hesaplanır. Bu aşamada sürecin izleme amaçları doğrultusunda, kontrol sınırlarını saptamak için bir veri grubu elde edilir. Bu küme kullanılarak Hotelling'in T^2 çizelgesi oluşturulur.

İkinci aşamada süreçten hesaplanan T^2 istatistik değerleri gözlem sırasıyla çizelgeye yerleştirilerek üst kontrol sınırının üstünde bir değer bulunup bulunmadığı takip edilir (Mason 2001). Böyle bir değer, kontrol dışı durum sinyali olarak değerlendirilir ve olası hata kaynakları araştırılır. Çok değişkenli sürecin ortalamasının kontrolde olup olmadığı izlenir. Ortalama ve standart sapma sıfır ya da sıfıra yakın bir değer olduğunda; 'Kontrolde' kavramı, Çok değişkenli sürecin ortalamasının değişmesi; 'Kontrol dışı' kavramıyla belirtilir.

I. Aşama

İlk aşamada; kontrol sınırlarını belirlemeden önce sürecin kontrolde olup olmadığı test edilir. \bar{x} kontrol vektörünün; μ ortalama vektörü ve Σ $p \times p$ boyutlu kovaryans matrisi ifade etmek üzere, çok değişkenli normal dağılım izleyip izlemediği ki-kare testi ile belirlenir.

$$\chi^2 = (\bar{x} - \mu)^T \Sigma^{-1} (\bar{x} - \mu) \quad (1)$$

eşitliğinden bulunan değerler, ortalamanın μ 'ya eşit olması durumunda, n serbestlik derecesi ile *ki-kare* dağılımı yapacaktır (Seber, 1984). Çok değişkenli bir *ki-kare* grafiği, $\alpha = 0.01$ ya da $\alpha = 0.05$ güven aralığında $\chi^2_{\alpha, n}$ 'den kontrol sınırları;

alt kontrol sınırı :

$$AKS = \chi^2(1 - \alpha/2; p) \quad (2)$$

ve üst kontrol sınırı :

$$UKS = \chi^2(\alpha/2; p) \quad (3)$$

şeklinde. Burada $\chi^2(\alpha; p)$, p serbestlik değerleri ile ki kare dağılımının $1-\alpha$ yüzdelik değeridir. (1) eşitliğindeki χ^2 , μ ortalama değerinden her bir noktanın ağırlıklı uzaklığını gösterir (Mahalanobis mesafesi). Böylece elips merkezi; μ ortalaması ve elips yarıçapı; üst kontrol sınırı ile bulunan değer

olmak üzere, bir güven elipsi tanımlanmış olur. Buradan değişkenlerin güven elipsi içinde olup olmadıkları kontrol edilebilir. İlk örnek kümesinde kontrol dışı gözlemler saptanarak kümeden atılır.

Daha sonra, eş zamanlı olarak ölçülmüş p adet değişkenin denetim sınırları; Σ kovaryans matrisinin bilinmediği ve bir alt grup veriden tahmin edilmesi gerektiği zaman Hotelling'in T^2 istatistiği ile hesaplanabilir.

Ölçüm sayısı n olan, p adet değişkenin oluşturduğu, (pxn) boyutunda veri matrisi,

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{p1} & \dots & X_{pn} \end{pmatrix} \quad (4)$$

şeklindedir. Bu matriste; n : toplam ölçüm sayısını, p : toplam değişken sayısını, X_{ij} : i değişkeninin j değerini göstermektedir. Her bir gözlem serisinin oluşturduğu n sayıda gözlem değerinden oluşan p adet değişkenler matrisi,

$$X_i = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_p \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

vektörlerinden oluşur. X matrisinin her bir satır vektörünün ortalamaları;

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (6)$$

eşitliği ile i değişkeninin aritmetik ortalaması hesaplanır. Her bir X_i serisinin ortalamaları;

$$\bar{M}_o = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 & \bar{x}_2 & \dots & \bar{x}_p \end{bmatrix} \quad (7)$$

eşitliğinden hesaplanarak, $1 \times p$ boyutunda M_o ortalamalar matrisi elde edilir. i değişkeninin standart sapması:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n}} \quad (8)$$

eşitliği ile hesaplanır. i değişkeninin j gözlemi için standartlaştırılmış değeri:

$$Z_{ij} = \frac{(x_{ij} - \bar{x}_i)}{s_i} \quad i=1,2,\dots,p, j=1,2,\dots,n \quad (9)$$

eşitliğinden hesaplanır. $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_p)$ vektörlerinden oluşan (pxn) boyutunda standartlaştırılmış veri matrisi;

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{p1} & \dots & Z_{pn} \end{pmatrix} \quad (10)$$

şeklinde. Her değişkene ait sayısal değerlerden o değişken satırının aritmetik ortalaması (\bar{X}_i) çıkarılıp, aynı değişkenin standart sapmasına (S_i) bölünerek veri standartlaştırılmış olur. Bu şekilde elde edilen standartlaştırılmış değişkenlerin aritmetik ortalamaları 0, standart sapmaları 1'dir.

n elemanlı, p değişkenli seriler için $p \times p$ boyutlu S varyans kovaryans matrisi;

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x}) \quad (11)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada S varyans kovaryans matrisi standartlaştırılmış verilerden hesaplandığında; x_i gözlemlerinin ikişerli korelasyon katsayılarını temsil eder.

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & \cdots & r_{pp} \end{pmatrix} \quad (12)$$

R , ($p \times p$) boyutunda, standartlaştırılmış değişkenler arası korelasyon matrisidir.

Z_i ile Z_k arasındaki kovaryans,

$$Cov(Z_i, Z_k) = S_{ik} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n ((Z_{ij} - \bar{Z}_i)(Z_{kj} - \bar{Z}_k)) \quad (13)$$

şeklinde olduğundan, i değişkeni ile k değişkeni arasındaki korelasyon katsayısı;

$i = 1, 2, \dots, p$, $k = 1, 2, \dots, p$, $r_{ik} = r_{ki}$, $i \neq k$ olmak üzere;

$$r_{ik} = \frac{Cov(z_i, z_k)}{\sqrt{Var(z_i)}\sqrt{Var(z_k)}} = \frac{\sum_{j=1}^n ((z_{ij} - \bar{z}_i)(z_{kj} - \bar{z}_k))}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - \bar{z}_i)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{kj} - \bar{z}_k)^2}} \quad (14)$$

eşitliğinden hesaplanır. Korelasyon katsayısı ile iki değişken arasındaki ilişkinin derecesi, yönü ve istatistiksel açıdan önemli olup olmadığı saptanır. Burada ikili ilişkiler anlamlı ise çok değişkenli denetim grafiklerini çizmek için uygundur sonucuna varılır.

Hotelling'in T^2 istatistiğine dayanarak çok değişkenli bir denetim grafiği oluşturmak için, x_i gözleminde grafik istatistiği kullanılır.

$$T^2 = (M_i - \bar{M}_n)' S_n^{-1} (M_i - \bar{M}_n) \quad (15)$$

eşitliği ile çok değişkenli T^2 mesafesi bulunur. Daha sonra F dağılımı kullanılarak bir üst kontrol sınırı (T^2_{UKS}) elde edilir. $m \times 1$ boyutlu bir çok değişkenli gözlem vektörü ve m elemanlı bir alt grup gözlemlere dayanan S tahmini için;

$$T_{UKS}^2 = \frac{(m^2 - 1)n}{m(m - n)} F_{\alpha(n, m-n)} \quad (16)$$

Üst kontrol sınır değeri bulunur. Burada $F_{\alpha(n, m-n)}$ ifadesinde; $(n, m-n)$ serbestlik derecesi ile F dağılımını gösterir. Eşitlik (15)'e göre hesaplanan m adet değerden, eşitlik (16)'da verilen kontrol sınırını aşanlar, ilk veri kümesinden atılır, azalan m değerine göre; yeni kontrol sınırı ve T^2 değerleri hesaplanıp çizilir. Bu veri atma işlemi kontrol sınırları dışında nokta kalmayana kadar tekrar edilir. Bazı durumlarda, işlem üç-dört kez tekrar ettiği halde sınırlar dışında bazı noktalar kalır; bu noktalar için herhangi bir olası hata kaynağı saptanamıyorsa işlem durdurulabilir.

II. Aşama

Veri atma işleminin ardından elde edilen referans veri kümesinin hacmine m_s diyelim. i gözlemi olan y_i 'nin, y_n ve S_n 'den bağımsız olduğu düşünülürse, T^2 istatistiği p ve $m-p$ serbestlik değerleri ile F dağılımını izler.

Bu durumda ikinci aşamada kullanılacak üst kontrol sınırı;

$$UKS = \frac{p(m_s + 1)(m_s - 1)}{(m_s)^2 - m_s p} F_{(\alpha; p; m_s - p)} \quad (17)$$

ve alt kontrol sınırı:

$$AKS = \frac{p(n - 1)(n + 1)}{n(n - p)} F_{(1 - \frac{\alpha}{2}; p; n - p)} \quad (18)$$

eşitliklerinden hesaplanır ve T^2 değeri şöyle yazılır:

$$T_i^2 = (y_i - \bar{y}_i)(S)^{-1} \left((y_i - \bar{y}) \right) \quad (19)$$

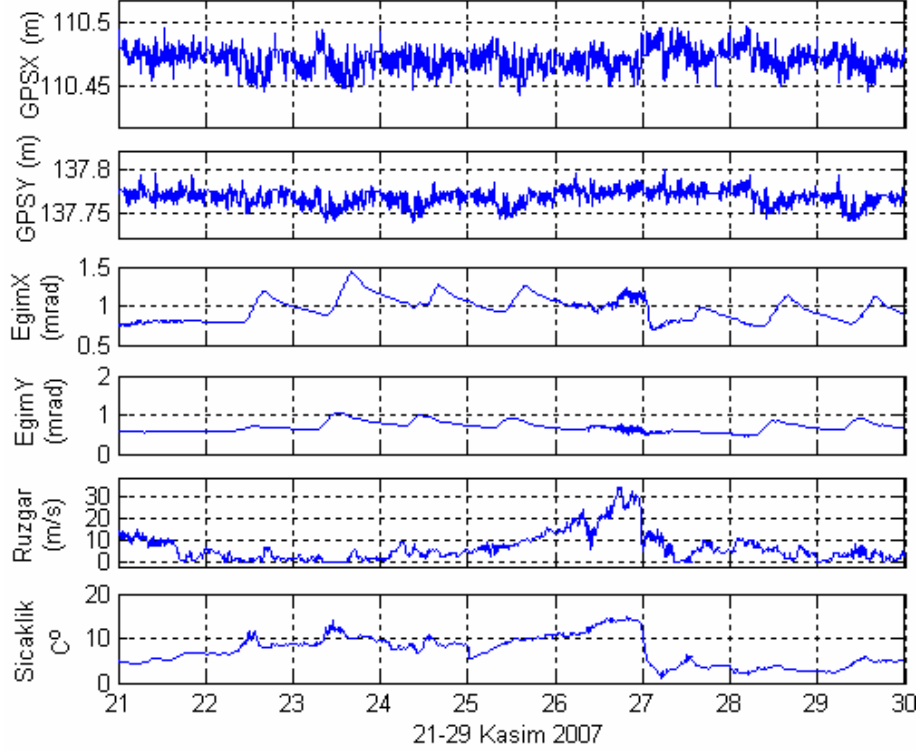
Burada; $F_{\alpha, p, m-p}$, p ve $m_s - p$ serbestlik derecesi değerleri ile F dağılımının $1 - \alpha$ yüzdeleri değeridir. Ayrıca (19) eşitliğinde \bar{y} ve S 'nin referans veri kümesinden tahmin edildiğine dikkat edilmelidir; burada (17) ve (19) eşitliklerinde, m yerine m_s kullanılarak referans veri kümesine uygulanmalıdır.

Ancak yapılan test çalışmaları, $m > 25$ ise birinci ve ikinci aşama kontrol sınırları yerine yaklaşık bir değer olarak p serbestlik dereceli ki-kare dağılım yüzdeliği kullanılmaktadır. Birçok durum için AKS sıfır olarak kabul edilebilir. Bunun nedeni, ortalamadaki herhangi bir sapmanın T^2 istatistiğinde her zaman bir artışa sebep olması ve bu yüzden AKS'nin yok sayılmasıdır. T^2 , sadece ortalama vektöründeki sapmalara değil kovaryans matrisindeki değişikliklere de bağlıdır. Kovaryans matrisi değişmek üzere ise bu durum T^2 'nin anormal derecede ki küçük değerler almasıyla sonuçlanabilir. Buna benzer değişikliklerin saptanması için sıfırdan farklı bir AKS gereklidir.

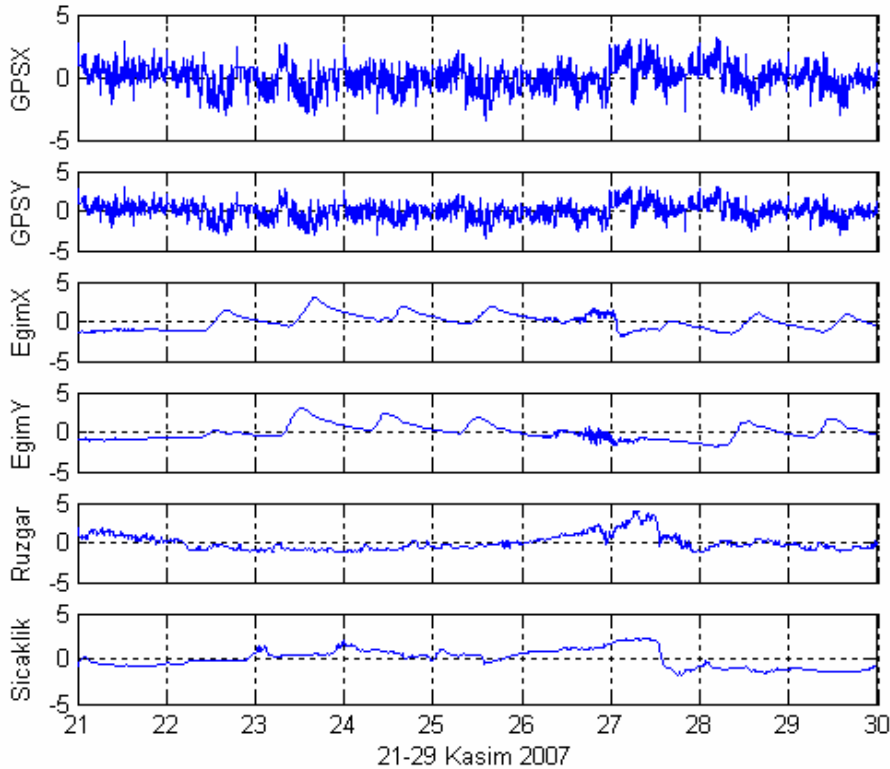
3. TEST ÖLÇÜLERİNİN ANALİZİ

Test çalışmasında (Pehlivan, H., doktora tezi kapsamında); 21-29 Şubat 2007 tarihleri arasında kayıt edilen GPS, eğim ölçer, rüzgar ve sıcaklık verileri çok değişkenli T^2 çizelgesi ile incelenmiştir. GPS verisi, 20 Hz örnekleme oranı ile ± 1 cm yatay ve ± 2 cm düşey doğrulukla ölçülmüştür. Rüzgar ve sıcaklık ölçümlerinde; rüzgar hızı için 0.01 m/s, sıcaklık sensörü için yaklaşık olarak 0.5° C doğrulukla, eğim ölçer ölçme doğruluğu ise ± 0.005 mrad'dır (Pehlivan, 2009). Çoklu istatistik analiz yöntemi Hotelling'in T^2 istatistiğine dayanılarak, 9 günlük etki ve tepki serilerinin çok değişkenli denetim grafiği ile incelenmesi amaçlanmıştır. Tepki yükleri olarak X Y yönlü GPS ve Nivel20 serileri; etki yükleri olarak rüzgar ve sıcaklık serileri kullanılmıştır.

21 Kasım, saat 00:00'dan 29 Kasım, saat 24:00'e kadar ölçülen 9 günlük zaman serileri 1 dakika ile yeniden örneklenmiştir. GPS serileri zaman boyutunda incelenmiş kaba hataları filtrelenmiş ve gürültü azaltma işlemi uygulanmıştır. GPS gözlemlerini (GPSX, GPSY), eğim ölçer bileşenleri (EğimX, EğimY), rüzgar ve sıcaklık değişimlerini gösteren gözlem serileri Şekil 1'de sunulmuştur (Pehlivan, 2009).



Şekil 1. Eş zamanlı ölçülmüş etki ve tepki serileri



Şekil 2. Standartlaştırılmış etki ve tepki serileri

Şekil 2’de standartlaştırılmış zaman serileri görülmektedir. Serilerin ön değerlendirilmesi, istatistiksel ölçütler kullanılarak yapılmıştır. Değişkenlere ait istatistik değerler Tablo 1’de sunulmuştur. Standardize edilmiş seriler -5 ile +5 değerleri arasında olduğundan, değişkenler normal bir dağılım izlemiştir. Herbir değişkenin gözlem sayısı $n=12960$ ve değişken sayısı $p=6$ olmak üzere, ortalamalar matrisi (7) eşitliğinden;

$Mo=[110.4708 \ 137.7680 \ 0.9683 \ 0.6906 \ 7.5350 \ 7.1850]$ şeklinde hesaplanmıştır.

Tablo 1. 21-29 Kasım verileri istatistik bilgileri

	N (dk)	Minimum	Maximum	Ortalama	Std. Sapma
GPS X (m)	12960	110.4428	110.4967	110.4708	0.0083
GPS Y (m)	12960	137.7388	137.7989	137.7680	0.0087
Nivel X (mrad)	12960	0.6823	1.4310	0.9683	0.1537
Nivel Y (mrad)	12960	0.4540	1.0656	0.6906	0.1259
Rüzgar (m/s)	12960	0	34	6.8175	6.4564
Sıcaklık (C°)	12960	0.9	14.7	7.1573	3.2953

Standardize edilmiş serilerin varyans kovaryans matrisi (11) eşitliğinden hesaplanmıştır. Hesaplanan 6x6 boyutlu matris gözlemlerin r korelasyon matrisi;

$$r = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.4752 & -0.3896 & -0.4386 & -0.0221 & -0.3201 \\ 0.4752 & 1.0000 & -0.0834 & -0.5417 & 0.3162 & -0.0590 \\ -0.3896 & -0.0834 & 1.0000 & 0.6353 & 0.0876 & 0.5879 \\ -0.4386 & -0.5417 & 0.6353 & 1.0000 & -0.2271 & 0.3998 \\ -0.0221 & 0.3162 & 0.0876 & -0.2271 & 1.0000 & 0.4206 \\ -0.3201 & -0.0590 & 0.5879 & 0.3998 & 0.4206 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

şeklinde hesaplanmıştır. Korelasyonların kontrolünde birbiriyle ilişkisiz veri olmadığı anlaşılmıştır. r_k matrisinde 0 değeri değişken çiftler arasında bir ilişkinin olduğunu gösterir.

$$rk = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Korelasyon matrisinin köşegen elemanları dışındaki elemanlarından görüldüğü gibi altı değişken ikiyeşerli olarak birbiriyle ilişkilidir. Birbiriyle korelasyonlu altı değişken için çokdeğişkenli denetim grafiği oluşturmanın uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

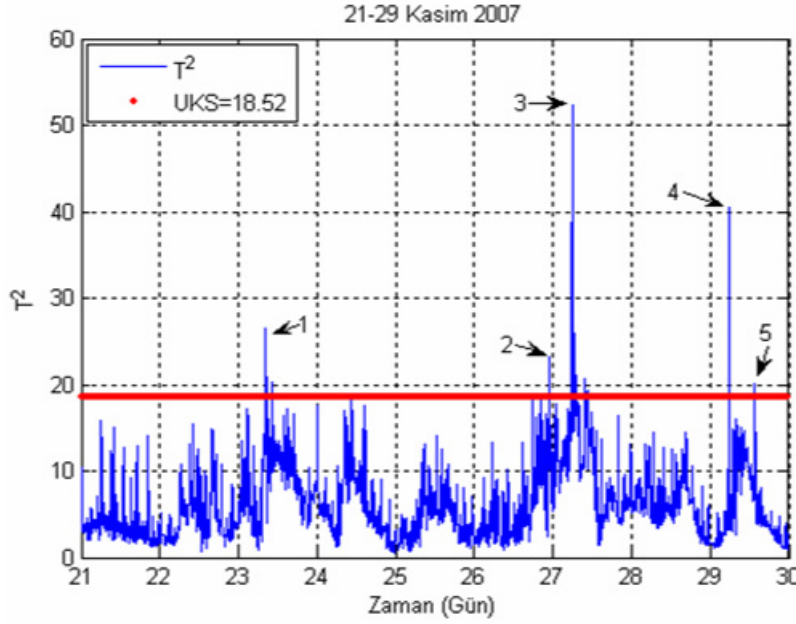
Çokdeğişkenli bir denetim grafiği oluşturmak için denetim sınırları ve bir grafiklendirme istatistiği gereklidir. (15) eşitliği kullanılarak, T^2 grafiklendirme istatistiğinin değerleri hesaplanmıştır. $\alpha = 0.01$ olduğu (17) ve (18) eşitlikleri ile denetim sınırları:

Üst kontrol sınırı (UKS), F tablosundan 12960 gözlem ve 6 değişken için 3.09 değeri alınarak aşağıda ki şekilde hesaplanmıştır.

$$UKS = \frac{(12960-1)^2}{12960} \times \frac{(6/(12960-6-1)) \times 3.09}{1+(6/12960-6-1) \times 3.09} = 18.52$$

AKS yaklaşık olarak sıfır kabul edilmiştir. T^2 ve üst kontrol sınır değeri ile verilere ait çok değişkenli denetim grafiği zamana bağlı olarak oluşturulmuş ve Şekil 3’te sunulmuştur. Şekilden görülen denetim grafiği, denetim sınırları dışında beş tepe noktasını gösterir. Denetim grafiğinden, 23, 26, 27 ve 29. günlerde önemli olayların gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Çok değişkenli T^2 değerinin büyüklüğü, altı ana bileşenden birinin ya da birkaçının etkisi ile açıklanabilir. Zaman eksenli etki yükleri

incelendiğinde 23 Kasım gününde sıcaklığın etkili olduğu, 26 ve 27 Kasım günlerinde ani rüzgar-sıcaklık değişimlerinin etkili olduğu, 29 Kasım'da azda olsa sıcaklık değişiminin etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Çok değişkenli denetim grafiği

4. SONUÇ

Çok değişkenli istatistiksel analizde, bir sürece ait n adet ölçüm ve p adet değişken incelenmektedir. Hotelling'in T^2 grafikleri ardışık zamanlarda toplanmış tek gözlemlere uygulanabileceği gibi altgruplar halinde toplanmış gözlemlere de uygulanabilir. Bu çalışmada tek gözlemler kullanıldığı için, diğer bir ifade ile altgrup büyüklüğü bir alındığı için, çizelgenin sadece bu koşullarda kullanımı incelenmiştir. Bu kapsamda dokuz günlük sürede 1 dakika periyotla ölçülen GPS, eğim, sıcaklık ve rüzgar bileşenlerinin Hotelling'in T^2 kontrol grafiği hesaplanmıştır. Hesaplama 6 adet değişkene ait 12960 ölçüm değeri kullanılmıştır. Bu grafikte dört farklı günde, beş adet tepe noktası tespit edilmiştir. Tepe noktaları altı ana bileşenden birinin ya da birkaçının etkisi ile açıklanabilir ve bu günlerde önemli olayların gerçekleştiği anlaşılır. Söz konusu günlerde zaman eksenli etki yükleri incelendiğinde sıcaklık değişiminin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu bildiriye çok değişkenli kontrol grafiği ile GPS ve yardımcı sensör verisinin tümü incelenerek, kontrol dışı durumlar belirlenmiştir. Bütün değişkenlerin birbiriyle ilişkili olması ve değişken sayısının çok fazla olması verinin değerlendirilmesini güçleştirmektedir. Çok değişkenli kontrol grafikleri, eş zamanlı ölçümleri içeren yapı izleme çalışmalarında olduğu gibi birbiriyle ilişkili çok sayıda verinin değerlendirilmesinde oldukça faydalı bir teknik olabilir.

KAYNAKLAR

- Barbara G. T. and Linda S. F.**, 1989, Using Multivariate Statistics. 2nd ed. Harper & Row, New York. 746 pp.
- Barnett, V.**, 1994, Outliers in Statistical Data. 3rd ed. Wiley, Chichester, New York. 584 pp.
- Mason, R.L.**, 2001, Young, J.C., Multivariate Statistical Process Control with Industrial Applications, ASA-SIAM, Philadelphia.
- Morrison, D. F.** 1990, Multivariate Statistical Methods. 3rd. McGraw-Hill, New York. 495p.
- Ogaja, C., Li X., Rizos C.**, 2006, Advances in Structural Monitoring with Global Positioning System Technology: 1997-2006
- Pehlivan H.**, 2009, Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Yöntemiyle Yapıların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi, Doktora tezi, YTÜ, İstanbul.
- Seber, G. A. F.**, 1984, Multivariate Observations. John Wiley & Sons, New York.
- Tatlıdil H.**, 1992, Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Ankara, s. 122
- Tracy, N.D., Young, J.C., Mason, R. L.**, 1995, Decomposition of T^2 for Multivariate Control Chart Interpretation, Journal of Quality Technology, 27(2), 99-108.