



Real-Time Monitoring of Drift for Occupancy Resumption

Mehmet Çelebi¹

¹ Senior Research Civil Engineer, USGS, 345 Middlefield Road, Menlo Park, California, U.S.A.
ORCID: 0000-0002-4769-7357

Keywords

Drift ratio, occupancy, damage indicator, accelerometer, displacement, GPS

Highlights

- * Sensor data is related to performance level and health of a building
- * Real-time displacement monitoring are possible with GPS and/or accelerometers
- * Findings from sensor data have shown that the results are reliable

Acknowledgements

United States Geological Survey (USGS)

Aim

Early development in 2000s to use data to make informed decisions on occupancy resumption of buildings affected by strong earthquake shaking. Displacements are used to compute drift ratios and related to performance by stages of thresholds of drift-ratios and corresponding performance levels.

Location

San Francisco, California, U.S.A.

Methods

Using accelerometer or GPS monitoring applications, drift ratios are computed from measured data and related to performance

Results

GPS and double-integrated acceleration applications can be used for performance evaluation of structures and can be considered as building health-monitoring applications. Although, to date, these systems were not tested during strong shaking events, analyses of data recorded during smaller events or low-amplitude shaking are promising.

Supporting Institutions

USGS

Manuscript

Research Article

Received: 02.05.2019

Revised: 21.05.2019

Accepted: 21.05.2019

Printed: 30.06.2019

DOI

doi.

Corresponding Author

Mehmet Celebi

Email: celebi@usgs.gov.tr

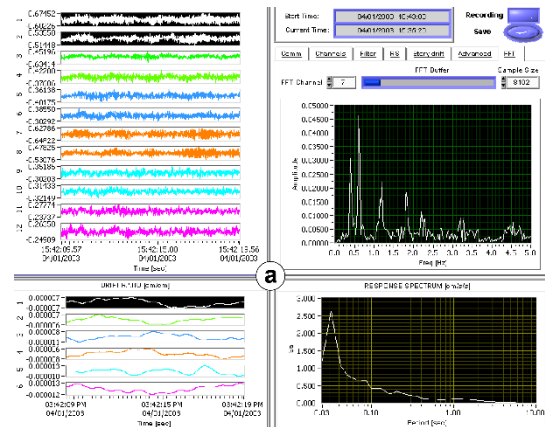


Figure
Screen snapshots of sample client software displays:
acceleration streams, computed amplitude and response
spectra

How to cite:

Çelebi M., 2019. Real-Time Monitoring of Drift for Occupancy Resumption, Turk. J. Earthq. Res. 1(1), 15-25



Gerçek Zamanda Bir Deprem Olayında Binaların Kullanılabilirlik Kararı İçin Sürekli Ötelenme Ölçümü

Mehmet Çelebi¹

¹ USGS, 345 Middlefield Road, Menlo Park, Kaliforniya, A.B.D.
ORCID: 0000-0002-4769-7357

ÖZET

Ölçüm aletleri yerleştirilmiş olan yapıların seçilen yerlerinde gerçek zamanlı yer değiştirme, ya ivme-ölçer zaman serisi verilerinin çift entegrasyonu ya da yüksek binaların çatılarına yerleştirilen yüksek örneklem oranlarına sahip diferansiyel küresel konumlama sistemi (KKS) ile elde edilir. Bu nedenle, sensör verileri bir binanın performans seviyesi ve sağlığı ile ilgilidir. Ötelenme oranları bir yapının hasar durumunun parametrik göstergesi olarak hesaplanır. Tetkik ve/veya kullanılabilirlik kararı almak için çeşitli seviyelerde eşik ötelenme oranları tahmin edilebilir. Ötelenme oranı, arka arkaya seçilen kat çiftlerine konuşlandırılan ivme-ölçerlerden iki kat arasındaki göreceli yer değiştirme kullanılarak hesaplanır. Bununla birlikte, KKS ile ölçülen göreceli yer değiştirmeler zemindeki referansa göre sadece çatıdan elde edilecek şekilde sınırlıdır. Bu nedenle bir bina için sadece ortalama ötelenme oranı elde edilir. Yakın zamana kadar mevcut KKS sistemlerinin saniyede 10-20 kayıt aldığı ve kullanımın sadece uzun periyotlu ($T > 1$ sn) yapılarla sınırlı olduğu bilinmekteydi. Son zamanlarda ise saniyede 50 örnekle kayıt yapan diferansiyel KKS sistemleri başarıyla kullanılmaktadır ve bu KKS yaklaşımının tüm yapı tipleri için gelecekteki faydasını mümkün kılmaktadır. Hem ivme-ölçerlerden hem de KKS kurulumlarından elde edilen verilerle kazanılan deneyim, sistemlerin güvenilir olduklarını, mal sahiplerini ve diğer ilgilileri bilinçli karar almaları noktasında uyarma, önemli sarsıntılar sonrası önceden tanımlanmış eylemleri seçmede pratik alternatifler sağladığını göstermektedir. Ayrıca, bu tür yöntemlerin işletmeler tarafından kabul görmesi, uygulanabilirliklerinin kanıtıdır.

Anahtar kelimeler

Ötelenme oranı, kullanılabilirlik, hasar göstergesi, ivme, yer değiştirme, KKS

Öne Çıkanlar

- * Sensör verileri, binanın performans seviyesi ve sağlığı ile ilgilidir
- * Gerçek zamanlı yer değiştirme izleme KKS ve/veya ivme-ölçerlerle mümkündür
- * Sensör verileriyle ilgili bulgular, sonuçların güvenilir olduğunu göstermiştir

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 02.05.2019
Düzeltilme: 21.05.2019
Kabul: 21.05.2019
Basım: 30.06.2019

DOI

doi.

Sorumlu yazar

Mehmet Çelebi
Eposta: celebi@usgs.gov

Real-Time Monitoring of Drift for Occupancy Resumption

Mehmet Çelebi¹

¹ Senior Research Civil Engineer, USGS, 345 Middlefield Road, Menlo Park, California, U.S.A.
ORCID: 0000-0002-4769-7357

ABSTRACT

At selected locations of instrumented structures, real-time displacements are acquired by either double integration of accelerometer time-series data, or differential global positioning system (GPS) with high sampling ratios deployed at roofs of tall buildings. Thus, sensor data is related to performance level and health of a building. Drift ratios are computed as the parametric indicator of damage condition of a structure. Several levels of threshold drift ratios can be postulated in order to make decisions for inspections and/or occupancy. Drift ratio is computed using relative displacement between two floors computed from accelerometers strategically deployed at select number of pairs of consecutive floors. However, GPS-measured relative displacements are limited to being acquired only at the roof with respect to its reference base - yielding only average drift ratio for a building. Until recently, GPS systems available were limited to 10-20 sps capability - limiting their use only to long-period structures ($T > 1$ s). Most recently, up to 50 sps differential GPS systems readily available are successfully used. Thus enabling future usefulness of GPS to all types of structures. Experience with data acquired from both accelerometers and GPS deployments indicates that they are reliable and provide pragmatic alternatives to alert the owners and other authorized parties to make informed decisions and select choices for pre-defined actions following significant events. Furthermore, recent adoption of such methods by financial and industrial enterprises is testimony to their viability.

Keywords

Drift ratio, occupancy, damage indicator, accelerometer, displacement, GPS

Highlights

- * Sensor data is related to performance level and health of a building
- * Real-time displacement monitoring are possible with GPS and/or accelerometers
- * Findings from sensor data have shown that the results are reliable

Manuscript

Research Article

Received: 02.05.2019
Revised: 21.05.2019
Accepted: 21.05.2019
Printed: 30.06.2019

DOI

doi.

Corresponding Author

Mehmet Çelebi
Email: celebi@usgs.gov

1. GİRİŞ

1.1) Arka plan ve Gerekçe

Bir depremin ardından, bir binanın hasar durumunun veya performansının hızlı ve doğru bir şekilde değerlendirilmesi; söz konusu yapıdaki, komşu binadaki ve altyapılardan etkilenebilecek tüm binalardaki mal sahipleri ve kiracıların yanı sıra, yerel yönetimler ve kurtarma ekipleri dâhil olmak üzere tüm ilgililer için büyük önem taşımaktadır. Bu paydaşlar aşağıdaki kilit soruların cevaplanmasını isteyeceklerdir: a) Görünür veya gizli hasar var mı, b) Hasar oluştuysa boyutu ne kadar, c) Hasar diğer komşu yapılara tehdit oluşturuyor mu, d) Can veya mal güvenliği konusunda soru işareti oluşmasına mahal vermeksizin yapı kullanılabilir durumda mı? Sonuç olarak bir binanın iskâna uygun ya da uygun değil kararının verilmesinden kaynaklanan maddi ve ekonomik kayıp önemli olabilir.

Bir depremden sonra binalarda uygulanan hasar değerlendirmeleri, yakın zamana kadar ATC-20 etiketleme kurallarında belirtilen süreçler izlenerek kent ölçeğinde görevli mühendisler tarafından yapılan denetimler yoluyla gerçekleştirilmiştir (ATC 1989). Etiketleme genelde yalnızca görsel incelemeyi içerir ve bina sakinleri için potansiyel tehlikenin göstergesi olan farklı renkli etiketler kullanılır: Yeşil renk binanın iskâna uygun olduğunu yani binanın can ve mal emniyeti açısından tehdit oluşturmadığını belirtir. Sarı renk aslında binanın kullanım açısından tehlikeli olduğunu gösterir ancak eşyaları tahliye etmek için binaya sınırlı girişi engellemeyen bir kısıtlamaya işaret eder. Kırmızı renk ise hayati tehlikenin olduğunu yani binaya girişin yasak olduğunu gösterir. Bununla birlikte, yapıların hasar seviyesini görsel inceleme ile doğru bir şekilde değerlendirmenin önündeki engellerden biri, bina sıvalarının ve yangın önlemleri kapsamındaki tedbirlerin varlığından dolayı bazı ciddi hasarların görünmeyebilir olmasıdır. Bina çerçevesinde gözle görülebilir bir hasar olmaması durumunda, çoğu çelik veya betonarme çerçeveli binalar, ayrılma veya çatlaklar gibi bina deformasyonunun görsel göstergelerine dayanarak etiketlenecektir. Binanın yaşadığı gerçek deformasyonlarla ilgili veri eksikliğinin olması tipik olarak bir denetleyici tarafından katı eğilimli olacak şekilde bir etiketlemeye yol açabilir. Bu gibi durumlarda denetleyiciler, bina sahiplerine pahalı ve zaman alıcı müdahaleler içeren tedbirler önerilebilir. Örneğin 1994 Northridge Kaliforniya-ABD Mw=6.7 depreminden sonra yüksekliği 1 ila 26 kat arasında değişen yaklaşık 300 bina birbiriyle ilişkili olacak şekilde pahalı bir denetlemeye tabi tutulmuştur (FEMA352 2013, SAC 2000).

Bu makale, yapı sağlığı izleme cihazları ile donatılan bir binanın gerçek zamanlı tepkisini ele alarak, mal sahipleri ve denetleme mühendisleri için alternatif bir etiketleme yöntemi açıklamaktadır. Porter ve diğ. (2006)'nin belirttiği gibi çoğu yeni yöntem Çelebi ve Sanli (2002) ve Çelebi ve diğ. (2004) tarafından belirtilen istisna dışında, bir binanın performansının değerlendirilmesi için bina deformasyonunun gerçek zamanlı ölçümünü kullanmamaktadır. Bu tür uygulamalarda yüksek örnekleme oranlarına sahip diferansiyel küresel konumlama sistemi (KKS) (Çelebi ve Sanli 2002) ve klasik ivme-ölçer sensörleri konuşlandırılmış yapılarda (Çelebi ve diğ. 2004), gerçek zamanlı veri elde etmek ve hasar durumunun ana parametrik göstergesi olarak yapının veya bileşenlerinin ötelenme oranlarını¹ hesaplamak üzere yeniden ayarlanmıştır. Buradaki düşünce, mal sahibinin ve denetleme mühendislerinin gerçek zamanlı bir yapı sağlığı izleme sistemi tarafından tespit edilen verilerin, yerel yönetimler tarafından aynı bölgede² benzer binalar için talep edilen şartnamelerden daha düşük bir denetim programını gerektirmek için kullanmaları

¹ Ötelenme oranı, iki katın kotu arasındaki fark ile bölünen herhangi iki kat arasındaki göreceli yer değiştirme olarak tanımlanır. Genellikle, bu oran iki ardışık kat için hesaplanır

² San Francisco-Kaliforniya (ABD)'de, "Bina Kullanılabilirlik Sürdürme Programı (BORP 2001) geliştirilmiştir. Bu sayede ciddi bir depremden sonra yerel mühendisler tarafından yapılacak detaylı denetimler yerine, önceden nitelikli bir doluluk karar verme süreci, bu makalede de açıklandığı gibi azaltılmış bir denetim programı kente önerilebilir

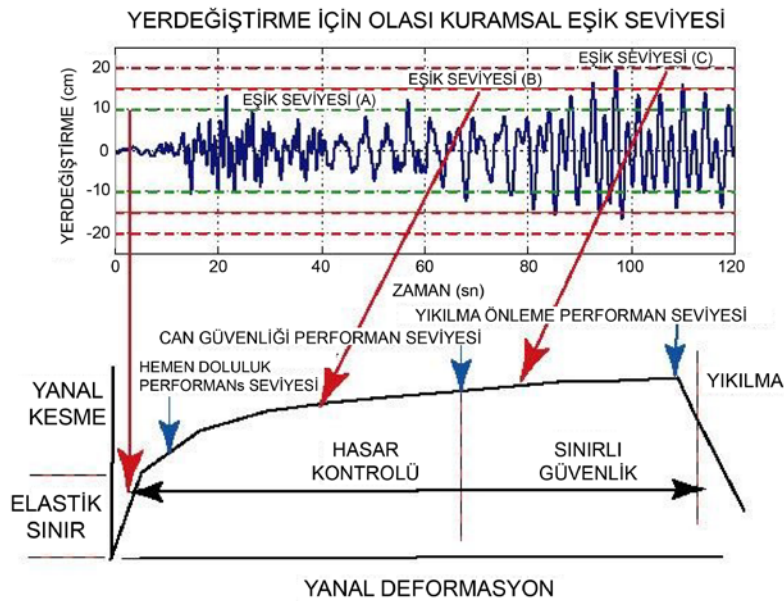
gerektiği şeklindedir. Bir deprem sırasında büyük ve potansiyel olarak hasara neden olan kaymalar yaşayan binadaki ilk muayeneleri, binada gözlenen deformasyon modeline ve ilgili hasar göstergelerine bağlı olarak belirli yerlere yönlendirmek mümkündür.

Her iki sensör (KKS veya ivme-ölçer) kullanımından elde edilen örnekler ve veriler, yöntemlerin güvenilir olduğunu ve önemli kararları takiben önceden belirlenmiş eylemler için bilinçli kararlar alınması ve seçim yapılması için gerekli bilgileri sağladığını belirtmektedir. Ayrıca, bu tür yöntemlerin ticaret ve sanayi işletmeleri tarafından ek olarak kabul edilmiş olması faydalı olduğunu göstermektedir (Çelebi 2019).

1.2) Gereksinimler

Performansı değerlendirmek için en uygun parametre, ölçüm yapmak veya katların gerçek (ya da ortalama) ötelenme oranlarını hesaplamaktır. Özellikle ötelenme oranları Şekil 1'de (ATC 1997'den değiştirilmiştir) varsayımsal olarak gösterilen performansa dayalı kuvvet-deformasyon eğrisi ile ilgilidir. Ardışık katlar arasındaki göreceli yer değiştirmelerden hesaplanan ötelenme oranları binanın ölçülen tepkisinden belirlenirse, binanın hasar durumu ve performansı Şekil 1'deki gibi tahmin edilebilir.

Yer değiştirmelerin doğrudan ölçülmesi çok zordur ve bir laboratuvarında (örneğin yer değiştirme dönüşümleri kullanarak) yapılan testler haricinde çeşitli yapılar için henüz mümkün olmamıştır. Yüksek katlı yapılar gibi uzun periyotlu binalar için yer değiştirme ölçümleri KKS kullanılarak doğrudan çatıda ölçülür. Belirlenen ötelenme oranı da tüm bina için ortalama ötelenme oranıdır. Bu nedenle, kaydedilen sensör verileri bir binanın performans seviyesiyle ve dolayısıyla bir bina için çatının tabana göre göreceli yer değiştirme genliğini göstermesini şart koşan performansa dayalı tasarımıyla ilişkilidir. Gerçek zamanlı ölçüm esasına dayanan sistemler için ivme-ölçerler, hasarın göstergesi olarak yer değiştirmeleri ve ötelenme oranlarını hesaplamak için kullanılan gerçek yapısal tepkinin gerçek zamanlı ölçümünü kolaylaştırmak için bir binanın birkaç katındaki belirli noktalara stratejik olarak yerleştirilmelidir.



Şekil 1: Performansla ilgili olarak varsayımsal yer değiştirme zaman-tarihi (ATC 1997'den değiştirilmiştir)

Tablo 1, çelik çerçeveli binalar için eşik aşamalarını tanımlayan tipik ötelenme oranı aralıklarını göstermektedir. Tablo, FEMA352 (2013) ve SAC (2000)'den geliştirilmiştir. Betonarme çerçeveli binalar için düşük rakamlar benimsemek daha uygun olabilir.

Tablo 1: Önerilen tipik eşik aşamaları ve ötelenme oranı aralıkları

Eşik Aşaması	1	2	3
Önerilen Tipik Ötelenme oranları	%0.2-0.3	%0.6-0.8	%1.4-2.2

2. YER DEĞİŞTİRMELERİN ÖLÇÜLMESİ İÇİN İKİ YAKLAŞIM

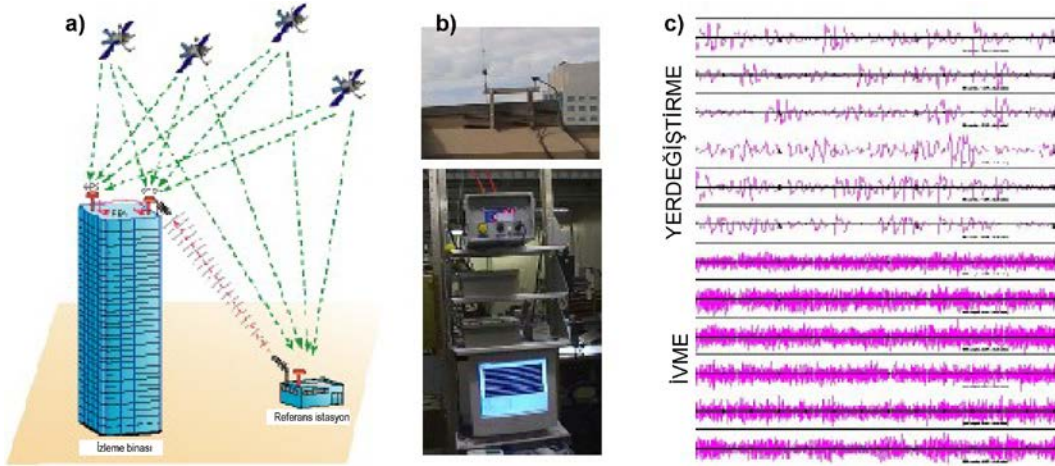
2.1) Yer değiştirmelerin Doğrudan Ölçülmesi için KKS Kullanımı

2.1.1) KKS'in İlk Öncü Uygulaması

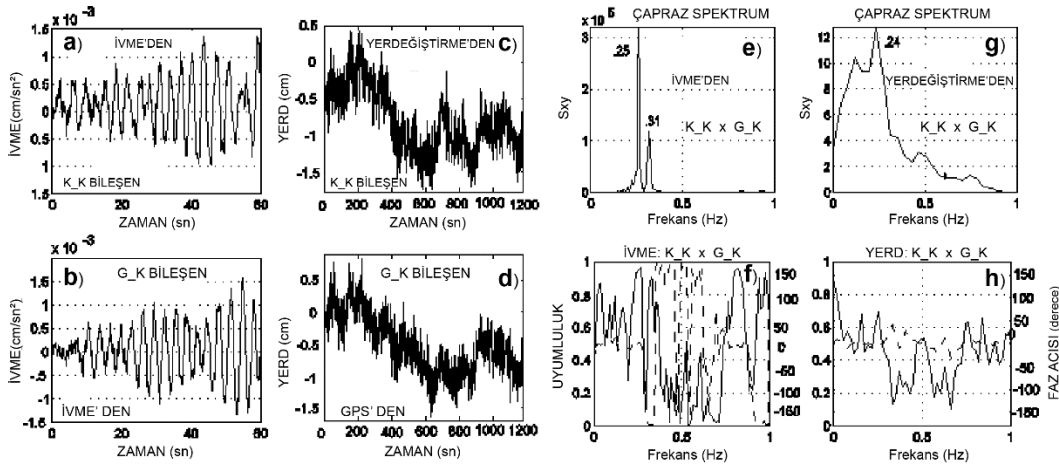
Yakın zamana kadar uzun periyotlu yapılarda ($T > 1$ sn) KKS kullanımı sınırlıydı. Çünkü saniyede 10-20 örnekleme aralığı (10-20 Hz doğruluk, ± 1 cm yatay ve ± 2 cm dikey hassasiyeti) olan ayırmsal KKS sistemleri kullanılmaktaydı. Son zamanlarda ise örnekleme aralığı 50'ye kadar çıkabilen ayırmsal KKS sistemleri mevcuttur ve başarıyla kullanılmaktadır (Panagiotou ve diğ. 2006, Restrepo 2007 - kişisel yazışma). Bu çalışmada, binalarda konuşlu KKS'ler ile yer değiştirmenin ölçümünün yalnızca çatıda yapılabileceğinin mümkün olduğu vurgulanmaktadır.

Yer değiştirmeleri doğrudan ölçmek için KKS kullanan öncü bir uygulamanın şeması ve fotoğrafları Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu özel durumda, ABD'nin Kaliforniya eyaletinde bulunan San Francisco'daki 34 katlı bir binanın hem ötelenme, hem de burulma tepkisini yakalamak için iki KKS anteni kullanılmıştır (Çelebi ve Sanli 2002). KKS antenleri ile aynı konuma, KKS'in ölçtüğü yer değiştirmeler ile karşılaştırmak amacıyla üç eksenli ivme-ölçer cihazlar konuşulmuştur. Hem hız hem de yer değiştirme verileri, Şekil 2'de de gösterildiği gibi izleme sistemine kaydedilmektedir.

Ancak mevcut kurulan sistemlerde günümüze kadar herhangi bir kuvvetli sarsıntı verisi kaydedilmemiştir. Bununla birlikte, ivme-ölçer ve KKS'lerden elde edilen ortam verileri analiz edilmiştir (Şekil 3a-d). Örnek çapraz spektrumları (S_{xy}), paralel kayıt çiftlerinin uyumluluğu, faz açısı grafikleri (Kuzeye konuşlu ivme-ölçerin sistemin N-S bileşeni ile Güneye konuşlu olanın K-G bileşeni) Şekil 3e-f'de gösterilmiştir. Aynı işlem, KKS'lerden elde edilen ayırmsal yer değiştirme kayıtları için de tekrarlanmıştır (Şekil 3g-h). Hem hız hem de yer değiştirmeden elde edilen çapraz spektrumlarında (S_{xy}) 0.24-0.25 Hz'de gözlenen baskın frekans, 34 katlı bir bina için beklenen temel frekansla uyumludur. 0.31 Hz frekansta gözlenen ikinci yüksek genlik, burulma moduna aittir.



Şekil 2: a) KKS ve ivme-ölçer (ABD-Kaliforniya eyaleti San Francisco şehri) kullanan genel sistemin şeması, b) KKS ve radyo modem anteni ve PC'ye bağlı kaydediciler, c) Gerçek zamanlı akan ivme ve yer değiştirme verileri



Şekil 3: a-b) 60 sn pencerele ivme verileri, c-d) Kuzey ve Güney'de konuşlandırılmış K-G bileşenli 1200 sn pencerele KKS yer değiştirme verileri (örnekleme aralığı KKS verileri için saniyede 10, ivme verileri için saniyede 200'dür). Yatay ve paralel; e-f) ivmelerin, g-h) KKS yer değiştirmelerin çapraz spektrumları (Sxy), ilişkili uyumluluk ve ilgili faz açısı grafikleri (Not: Uyumluluk faz açısı grafiklerinde, düz çizgiler uyumluluk, kesikli çizgiler faz açısıdır)

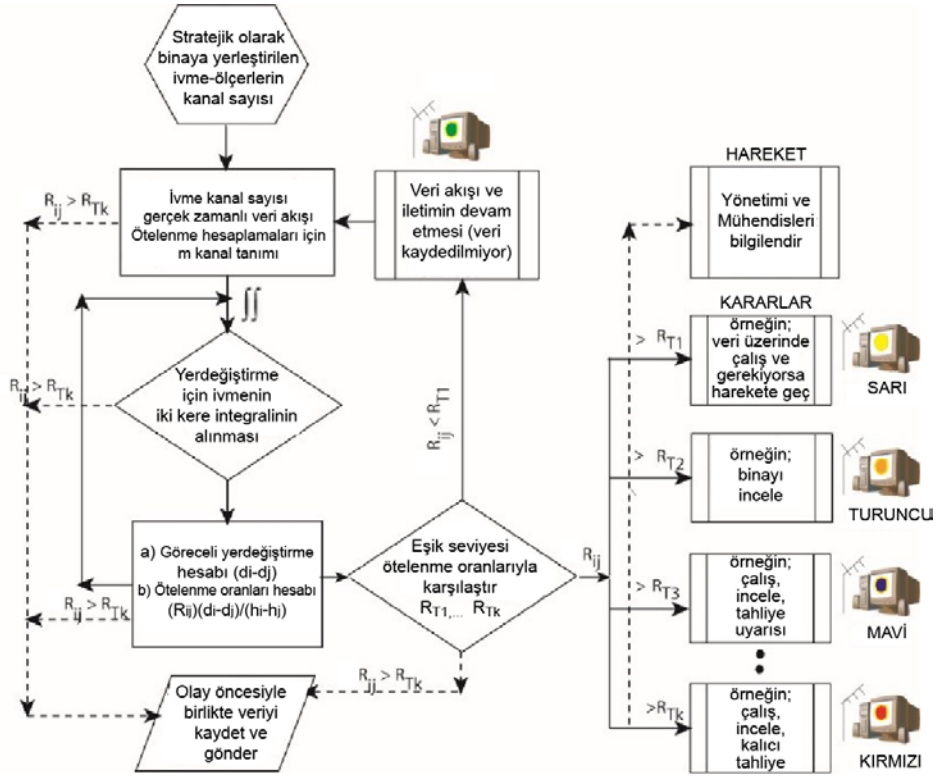
0.24 Hz'deki temel frekansta, yer değiştirme verileri 0°'lik bir faz açısı gösterir ancak uyum düşüktür (~0.6-0.7). Genliği üretici tarafından belirtilen hata aralığında olan KKS yer değiştirme verilerinden temel frekansın (0.24 Hz) tanımlanabileceği bir gerçektir. Bu durum, ivme verileri tarafından da onaylanabileceği üzere güçlü sarsıntı sırasında daha büyük yer değiştirmeler kaydedilebildiğinde daha iyi sonuç alınabileceğinin bir göstergesidir.

2.2) Çift İntegral Yapılarak Gerçek Zamanlı Yer Değiştirmenin Hesaplanması

Bir bina boyunca stratejik olarak yerleştirilmiş ivme-ölçer sinyallerinden gerçek zamanlı hesaplanan yer değiştirme ve ötelenme oranlarına dayanan alternatif bir strateji için genel bir akış şeması Şekil 4'te gösterilmiş ve Çelebi ve diğ. (2004) tarafından açıklanmıştır. Her ne kadar ideal olsa da, binanın her katında her yöne birden fazla ivme-ölçer yerleştirilmesi,

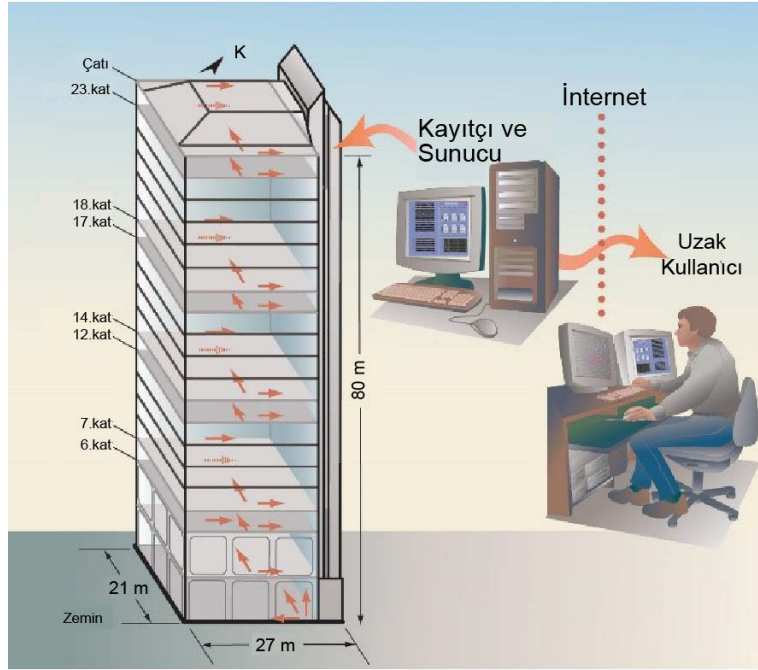
sadece kurulum maliyeti açısından değil aynı zamanda; a) veri akışının sağlanması, b) çift integral olarak yer değiştirme ve ötelenme oranı değerlerinin hesaplanması, c) eşik seviyesi aşımalarının görsel olarak gösterilmesi, dolayısıyla performans seviyesi ve hasar koşullarının zamanında değerlendirilmesi hedefinin gerçekleştirilmesi açısından da sağlam ve gerçek zamanlı bir sistem oluşturmada uygun bir yaklaşım değildir.

Bu prensipleri kullanarak yeni kurulan bir yapı sağlığı izleme sistemi şeması Şekil 5'te gösterilmiştir (Çelebi ve diğ. 2004). İvme-ölçerlerin dağılımı, kayma hesaplamalarını kolaylaştırmak için birkaç komşu kattan veri sağlar. Buradaki sistem sunucusu; a) sürekli analog verileri sayısallaştırır, b) saniyede 1000 örnek alacak şekilde veriyi alçak geçişli, kenar yumuşatma süzgeciyle ön işleminden geçirir, c) veri örnekleme aralığını saniyede 200'e düşürür ve yayınlar, d) belirlenen eşik seviyesi değerleri aşıldığında, sunucunun tetikleyici eşik seviyesi kriterlerini izler ve yerel olarak (olay öncesi hafızasıyla) kayıt yapar, e) verileri yüksek hızda internet üzerinden uzaktaki kullanıcılara sürekli olarak yayınlar. Veriler, güçlü sarsıntılarının oluşmasını beklerken, çalışmalarını kolaylaştırmak için talep üzerine yerel olarak da kaydedilebilir.

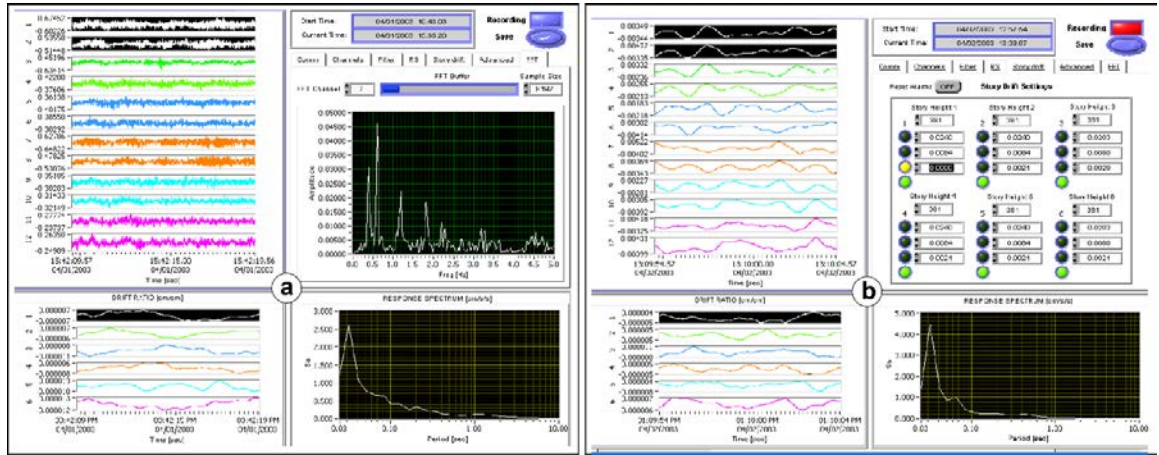


Şekil 4: Eşik ötelenme oranlarına dayalı hasar seviyelerinin gözlemlenmesi için akış şeması

Bir "İstemci Yazılımı"; hız, yer değiştirme ve ötelenme oranlarını daha sonra hesaplamak için kullanılacak ivme verilerini uzaktan edinir. Şekil 6; ivme, hız, yer değiştirme veya ötelenme oranı zaman serilerinin akışını ayarlamak üzere yapılandırılmış istemci yazılımına ait iki PC ekran görüntüsünü göstermektedir. Seçilen kanallardan biri için genlik spektrumu sistematik olarak yeniden hesaplanabilir, açıkça tanımlanabilir, farklı frekans piklerinin birkaçını ve zaman serileri ötelenme oranlarını gösterebilir.



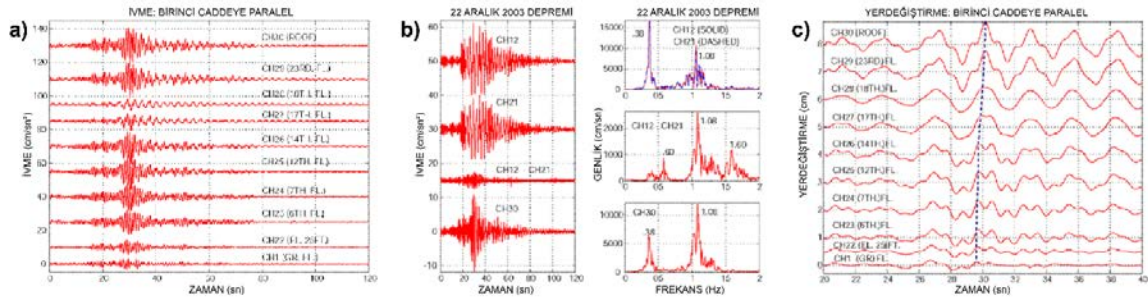
Şekil 5: Yapının gerçek zamanlı sismik izlemesinin şematik gösterimi



Şekil 6: Örnek istemci yazılımı ekran görüntüleri: a) ivme akışları ve hesaplanan genlik ve tepki spektrumları, b) yer değiştirme ve ona karşılık gelen ötelenme oranları ile alarm sistemleri

Her ötelenme oranına karşılık gelen dört renkli gösterge bulunur. Sadece yeşil renkli gösterge etkinleştirildiğinde hesaplanan ötelenme oranının, belirlenen ilk üç eşik değerinin altında olduğunu gösterir. Seçilen veri çiftleri için ötelenme oranlarının eşikleri de ekranda elle girilmelidir. Ötelenme oranları belirlenen üç eşiği aştığında, her biri farklı renkte olan ek göstergeler etkinleştirilir (Şekil 4). Ötelenme oranları, aynı doğrultuda konumlandırılmış herhangi bir ivme-ölçer kanalı çiftinin verilerini kullanarak hesaplanır. Alarm ve kayıt için eşik seviyesi ötelenme oranları, yapısal bilgiler kullanılarak yapı mühendisleri tarafından hesaplanır ve bu oranlar, daha önce Şekil 1'de gösterildiği gibi performansa dayalı husus ile uyumludur.

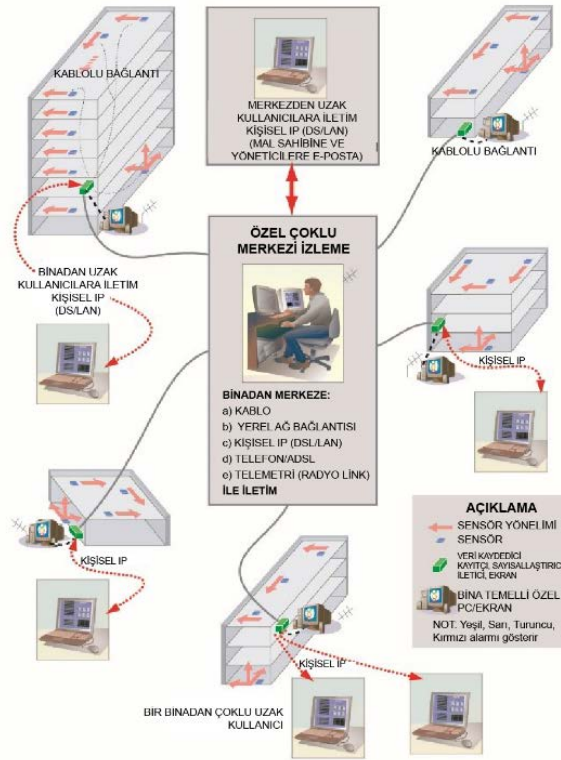
22 Aralık 2003 tarihinde ABD-Kaliforniya eyaleti San Simeon'da meydana gelen depremde ($M_w=6.4$, merkez üssü 258 km) binanın bir tarafında kaydedilen düşük genlikli ivme veri seti (en büyük ivmesi $\sim\%$ 1g) Şekil 7'de gösterilmiştir. Burada ayrıca çatıdaki ivmelere ve bunlara karşılık gelen; a) iki paralel kanal (CH12, CH21), b) bunların farkı (CH12-CH21), c) ortogonal kanal (CH30) için genlik spektrumları gösterilmektedir. Genlik spektrumu, birinci mod ötelenme ve burulma frekanslarını sırasıyla 0.38 Hz ve 0.60 Hz olarak göstermektedir. 1.08 Hz'deki frekans, ikinci ötelenme moduna aittir. Kaydın 20. saniyesinde başlayan 20 saniyelik hesaplanmış bir yer değiştirme penceresi, sismik dalgaların zemin kattan çatıya yayılımını ortaya koymaktadır. Seyahat zamanı yaklaşık 0.5 saniyedir. Bina'nın yüksekliği bilindiğinden (80 m), seyahat hızı 160 m/s olarak hesaplanır. Yapılardaki olası hasarın tespiti için olası yaklaşımlardan biri, seyahat zamanındaki önemli değişiklikleri takip etmektir, çünkü yapısal sistemde çatlaklar varsa, bu tür dalgaların seyahatleri gecikecektir (Safak 1999).



Şekil 7: 22 Aralık 2003 tarihli ABD-Kaliforniya eyaleti San Simeon depreminin; a) binanın bir tarafında ölçüm sistemlerinin olduğu katlardaki, b) paralel çatı kanallarındaki CH12, CH21 (ortada) ve bunların farkındaki (CH12-CH21) ortogonal CH30'daki ilişkili genlik spektrumları 0.38 Hz'de temel frekansı gösterir. c) 20 sn'lik bir bilgisayarlı yer değiştirme penceresi, zemin seviyesinden tavana doğru yayılan (kesikli çizgi ile gösterilen 0.5 sn hareket süreli) dalgaları gösterir

3. TEKLİ VE ÇOKLU YAPILARIN İZLENMESİ

Sadece bir binanın izlenmesinden ziyade, bazı mülk sahiplerinin endüstriyel çoklu yapılarda olduğu gibi birkaç binayı aynı anda izlemek istedikleri durumlar olabilir. Şekil 8, çoklu yapı odaklı bir izleme yapılandırmasını şematik olarak göstermektedir. Mülk sahibinin ve danışmanların tercihiyle bağlı olarak çoklu yapı sistemi, binaya özgü veya merkezi izleme sistemlerine sahip olabilir ve bu nedenle tasarımı oldukça esnekler. Düşünülebileceği gibi, çoklu yapı izleme sistemi için potansiyel farklılıklar ve alternatif kombinasyonlar yeterince vardır. Merkezi kontrollü izleme, binaya özgü özel izleme veya her ikisinin bir arada olduğu izleme seçenekleri mümkündür. İhtiyaçları karşılamak için çok çeşitli veri iletişim yöntemleri yapılandırılabilir (Şekil 8).



Şekil 8: Çoklu yapı izleme sistemi şeması. Çoklu yapı içindeki her bina kendi izleme sistemine sahip olabilir veya merkezi bir izleme birimi olabilir

4. SONUÇLAR

KKS hesaplama yeteneklerinin, yöntemlerinin ve veri aktarma teknolojilerinin en iyi duruma getirilmesi noktasında, bir binanın sağlığı ve doluluğu ile ilgili bilinçli kararlar verilmesine yardımcı olmak için güçlü bir sarsıntı sırasında tepki verilerinin hızlıca elde edilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla belirli bir bina için sismik izleme sistemi kurulumu ve uygulaması artık mümkün hale gelmiştir. Yer değiştirmeler ve buna bağlı ötelenme oranları, KKS teknolojisi ve/veya çift integrali alınmış ivme verisi sayesinde gerçek zamanlı veya gerçeğe yakın zamanlı elde edilebilmektedir. Ötelenme oranları, bağlantıların türüne ve geometrisi dâhil kat yapı özelliğine ait uygun parametreler kullanılarak, yapısal sistemin hasar durumuyla ilişkilendirilebilir. Bu nedenle, gözlemsel ötelenme oranları bir kere gerçek zamanlı hesaplandığında, bir binanın hasar durumunun teknik değerlendirmesi, gözlemsel ve önceden belirlenmiş eşik seviyesi aşamalarının karşılaştırılmasıyla yapılabilir. Hem KKS hem de ivme verisinin çift integralinin alındığı uygulamalar, yapıların performans değerlendirmesinde kullanılabilir ve yapı sağlığı izleme uygulamaları olarak kullanılabilir. Her ne kadar günümüze dek bu sistemler kuvvetli sarsıntılar sırasında test edilmemiş olsa da, daha küçük sarsıntılarda kaydedilen verilerin analizleri veya düşük genlikli sarsıntılar umut vericidir.

TEŞEKKÜR

Araştırmayı destekleyen Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu'na (USGS) teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Applied Technology Council (ATC), 1989. Procedures for Post-Earthquake Safety Evaluation of Buildings, ATC-20, Redwood City, CA.

Applied Technology Council (ATC). (1997). NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, prepared for the Building Seismic Safety Council, published by the Federal Emergency Management Agency, FEMA 274, Washington, D.C.

Building Occupancy Resumption Program (BORP), 2001. City and County of San Francisco, Department of Building Inspection, Emergency Operation Plan, (Rev. 2001). [www.seaonc.org/member/committees/des_build.html].

Çelebi M., Sanli A. (2002). GPS in Pioneering Dynamic Monitoring of Long-Period Structures, Earthquake Spectra, *Journal of EERI*. Volume 18, No. 1, pages 47–61, February 2002.

Çelebi M., Sanli A., Sinclair M., Gallant S., Radulescu D., 2004. Real-Time Seismic Monitoring Needs of a Building Owner and the solution – A Cooperative Effort, *Journal of EERI*, Earthquake Spectra, v.19, Issue 1, pp.1-23.

Çelebi M., 2019, S2HM of Buildings in USA, Book Chapter in Limongelli, Maria Pina, and Çelebi, Mehmet (Eds.) Seismic Structural Health Monitoring: From Theory to Successful Applications, Springer Tracts in Civil Engineering, Springer International Publishing AG., 3-27.

FEMA352, 2013. Recommended Post-earthquake Evaluation and Repair Criteria for Welded Steel Moment-Frame Buildings (also SAC Joint Venture 2000 prepared for FEMA), Washington, D.C.

Panagitou M., Restrepo J.I., Conte J. P., Englekirk R. E., 2006. Seismic Response of Reinforced Concrete Wall Buildings, 8NCEE (paper no. 1494), San Francisco, Ca. April 18-22, 2006.

Porter K., Mitrani-Reiser J., Beck J. L., Ching J., 2006. Smarter Structures: Real-time loss estimation for instrumented buildings, 8NCEE (paper no. 1236), San Francisco, Ca. April 18-22, 2006.

Safak E., 1999. Wave-propagation formulation of seismic response of multistory buildings, ASCE, *Journal of Structural Engineering*, vol. 125, no. 4, April 1999, pp. 426-437.