

YAPI SAĞLIĞI İZLEME VE YAPI TANI ÇALIŞMALARINI İÇİN AKILLI AKTARMA PROTOKOLLU KABLOSUZ SENSÖR AĞI

WIRELESS SENSORS' NETWORK WITH INTELEGENT TRANSMISSION PROTOCOL FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING AND STRUCTURAL IDENTIFICATION

Kemal Beyen¹, Mustafa Kutanis², H. Özver Tanöz³, Doğan Başkan³

ÖZET

Klasik kablolu yapı izleme sistemleri sensörler ve merkezi veri sayısallaştırıcı-yedekleme üniteleri ar¹asında iletişim ve elektrik için uzun kabloları ihtiyaç gösterirler. Böyle bir kablolu ağın yapı sağlığı/tanı çalışmalarında izleme amaçlı olarak çok açıklıklı viyadüklerin ve yüksek yapıların bulunduğu inşaat mühendisliği yapılarına uygulanması hem çok zorluklar içermekte hemde zaman almaktadır.

Kablosuz haberleşmede ve mikro-elektronik ürünlerde gözlenen gelişmelerle beraber sayılan problemlerin bertaraf edilmesinde kablosuz izleme sistemleri çok cazip hale gelmiştir. Son yıllarda, akademik ve ticari camiada kablosuz izleme sistemleriyle ilgili bazı uygulamalar görülmektedir. Türkiye'de bir gurub araştırmacının bu konuya yönelmesiyle akıllı aktarma protokollu kablosuz ivme ölçerlerden oluşan bir ağ geliştirilmiştir. Tasarlanan yeni hesaplama yazılımları sahada ve sonrasında verilerin değerlendirilmesiyle yapı karakteristiğiyle ilgili çalışmalarda kullanılabilir. Yeniden düzenlenmiş 32 bit simülasyonlu yongalarla tasarlanmış ve üretilmiş sayısallaştırıcı ve diğer işlemci kartları düşük gürültü seviyeli sensörlerle veri kalitesini yükseltmiştir. Kablosuz ivme ölçer ağın veri kalitesi, veri sayısallaştırma, iletme ve saklama performansının yanısıra uygulanan analiz algoritmalarının sonuçları iyi bilinen Guralp ve GeoSig cihazlarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Üretilen cihazlar, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde farklı hasarlar almış betonarme yapıların çevrel titreşim ölçümleri ve Kinematics üretimi olan yapay deprem üreticisiyle uygulanan zorlama kuvvet etkittirilen bina testlerinde kullanılmıştır. Geliştirilen sistemin yararlarının anlaşılması açısından bazı uygulama kayıtları gösterilmiştir. Önerilen kablosuz izleme sistemi ekonomiktir ve akıllı bir iletişim tekniğini veri toplama özelliği olarak sunmakta olup yapı sağlığı izleme ve yapı tanımlama açısından veri işlemede çok etkilidir.

Anahtar Kelimeler : kuvvetli ivme ölçer cihaz, kablosuz yapı sağlığı izleme, zaman tanım alanında analiz.

ABSTRACT

Wire-based conventional structural monitoring systems need extensive lengths of cables for the sensor units and the central data logger to transmit and save the data, along with extensible power cables. Installation of such wired systems for structural health monitoring of civil infrastructures, including high-rise buildings and long-span bridges, is difficult and time-consuming work.

With the advances in wireless communication and microelectronics, wireless monitoring systems have received great attention in the community to eliminate these problems. In recent years, some numbers of academic and commercial wireless monitoring systems have been proposed. A group of researchers in Turkey attended to develop a wireless accelerometer

¹ Doç. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, kbeyen@kocaeli.edu.tr

² Yard. Doç. Dr., Sakarya Üniversitesi, Sakarya, kutanis@sakarya.edu.tr

³ Elkt. Müh., Arel-Deprem gurubu, İstanbul, www.areldeprem.com.tr

network with intelligent transmission protocol. New designed 32 bits simulated A2D card and other processing cards enhanced the data quality with low noise level sensors. The data quality, acquisition capabilities of the wireless sensing system and results of the implemented analysis algorithms have been cross validated through the laboratory experiments with well known instruments Guralp and GeoSig. Field studies on varying number of story reinforced concrete structures, received different level of damages during 17 August 1999 Kocaeli earthquake, were also performed under either ambient vibration or forced vibrations produced by synthetic dynamic shaker manufactured by Kinematics. Some application examples with the results are given to show the effectiveness. Proposed wireless monitoring system offers an economical and intelligent transmission technique for data acquisition and very effective for further processing in SHM and structural identification studies.

Key words : instrumentation, data transmission, wireless SHM, time history analysis

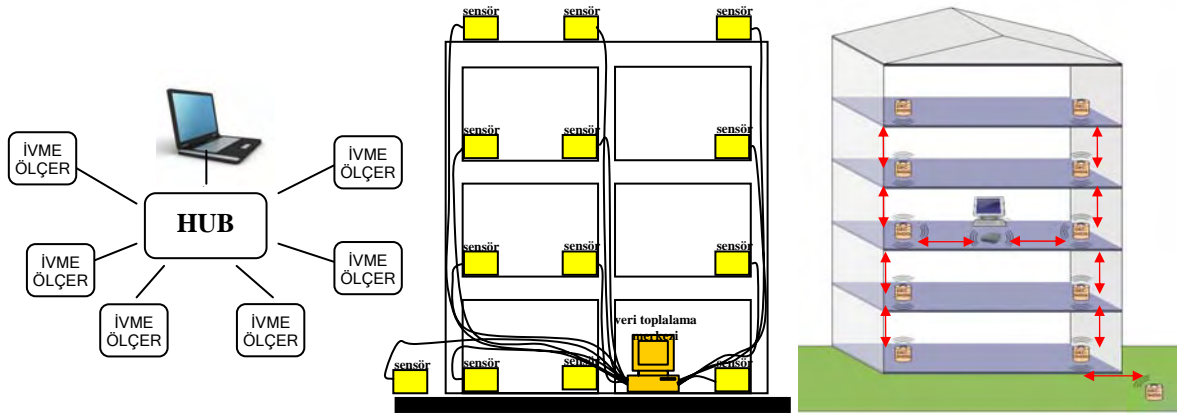
GİRİŞ

Titreşim ile ilgili çalışmaları, bilim tarihi içinde millattan önce 6. yüz yılda Pythagoras'un [572-512 M.Ö.] halat titreşim deneylerinden günümüzde Den Hartog'un [1901-1989] klasik titreşim teorisinin temel prensiplerini formülize etmek için yürüttüğü titreşim deneylerine kadar süren bir tarih penceresinden izleyebiliriz. İki bin beş yüz yıllık titreşim çalışmalarında gözlem araçları şüphesiz büyük değişimler geçirmiş olmasına rağmen, uğraşılan titreşim problemleri farklı seviyelerde yeniden şekillenmiş ve hala gündemde çalışma konusu olmaya devam etmiştir. Titreşim ölçen sensörler ve veri toplama ekipmanları teknolojinin çok hızlı geliştiği son çeyrek yüzyılda büyük değişimler yaşamışlardır. Konvansiyonel sensör-kayıd sistemleri, büyük boyutlu, ağır, kablolu bağlantı, alım ve bakım maliyetlerinin yüksekliğinin alternatifi olarak günümüzde ucuz, küçük boyut, az enerji tüketimi ve kablosuz iletişimin beraberinde sağlandığı örneğin mikro elektro-mekanik sistemler (MEMS) izleme ağlarının beklentisini yüksek performansıyla karşılamaktadır.

Deneysel modal analiz çalışmalarının ilkleri yetmişli yıllarda deniz petrol platformlarının ve uçak gibi hava ulaşım araçlarının hasar belirleme çalışmalarıyla başlamıştır. İnşaat mühendisliği alanında yetmişlerde yapı davranışındaki değişim geçişini izlemekle başlayan, günümüzde yapı sağlığı izleme uygulamaları olarak yerleşen [1] gözlemler gelişen dinamik yükleme deneyleriyle ayrı bir bilim alanına dönüşmüştür. Kablolu iletme ve aktarma ağı yapı sağlığı/tanı çalışmalarında izleme amaçlı olarak çok açıklıklı viyadüklerin ve yüksek yapıların bulunduğu inşaat mühendisliği yapılarına uygulanması hem çok zorluklar içermekte hemde zaman almaktadır. Kablolu sistemin laboratuvar ortamında yer tutmasının yanısıra düzenli saklanması, Şekil 1'de görüldüğü gibi sahada yapı üzerinde kurulması, toplanması ve bakımı ciddi bir problem olup, testlerde önemli bir zaman alan bedenle çalışmayıda gerektiren bir işittir. Mikroelektronik ve kablosuz iletişimin son on yılda sunduğu imkanlar kablosuz izleme düzeneklerinin içinde yer alan cihaz gurublarının gelişmesini sağlamıştır. Akademik ve ticari geliştirilen yeni kablosuz izleme sistemleri [2, 3] bir çok klasik çalışılan laboratuvar ve merkezlerin gündemine girmiştir. Stanford ve Michigan üniversitelerinde geliştirilen sensör algılama safhasında veri işleme özelliğiyle ileri test düzeneklerinin önümüzdeki yıllarda laboratuvarlarda yer alacağını göstermektedir [4, 5]. Kablosuz sistemlerin iş yükünü azaltmak, sinyal kalitesini artırmak ve enerji tasarrufu sağlamak için bazı ön sinyal işlemlerinin gömülü elektronik kart modülleri içine kodlanan algoritmalarla sahada veri aktarılırken yapılması bir diğer gelişmedir.

İnşaat ve deprem mühendisliği camiasında konvansiyonel sistemler hala kullanılmasının sebepleri arasında; pazarlama stratejisi, alışıla gelmiş yazılım ve ürün güncelleme ve desteğinin devam etmesi, ihtiyaç duyulan farklı düzenekler için kullanılana uygun çözüm üretilmesi, yüksek sensör hassaslığı ve yüksek çözünürlükte kurulmuş sistemlerin ihtiyacı görmesi ve kullanıcı ve kurum alışkanlıkları sayılabilir. Konvansiyonel sistemlerin avantajlarına rağmen, yapı izleme sistemlerinin geleceği takip edilen gelişmelerden anlaşıldığı kadarıyla kablosuz iletişim ve MEMS üzerinden şekillenecektir. Tablo 1'de Deprem Algılama Cihazı DAC-3HDG serisinde kullanılan kuvvet-ayarlı (Force-balance) ve MEMS ivme ölçer sensörlerin teknik özellikleri mukayese amacıyla verilmiştir.

Yapı karakteristik özelliklerinin tanımlanabilmesi için Şekil 2 ve 3’de görülen günümüz teknolojisinin sunduğu ivmeye yüksek duyarlı sensörler, analog alınan sinyalleri bir zaman sayacı içinden geçirerek sayısal veriye dönüştüren sayısallaştırıcı, sayısal verileri depolama birimleri, veri iletme protokollerini uygulayacak modülasyon kartları, verinin süzülmesi, entegrasyon, türev gibi temel işlem kartları, şartlandırıcılar ve hesaplayıcıları içinde tutacak bir çok birimi üstünde barındıran elektronik devrelerin yanısıra güç kaynağı ve ilgili destek kartları bir kayıt cihazının içinde olması gereken temel parçalardır. Bunların yanısıra, GPS desteği, cihazların eşzamanlı çalışmasını sağlayacak senkronize zaman kontrol algoritmaları, kablolu veya kablosuz veri aktarma ortamları, verilerin monitör edilmesini, cihaz parametrelerinin kullanıcı tercihi göre yeniden tanımlanabilmesine imkan sağlayacak ara yüzey yazılımlar aranan standard özelliklerdir. Cihaz geliştirilirken bu özellikleri sağlayan yapı oluşturulmaya çalışılmıştır. Teknik donanım için gereken desteğin ülke içinde ve hızlı olması, gelişime açık altyapısının olması, adapte edilebilmesi ve maliyetinin benzerlerine göre ucuz olmasının kazandıracak çok sayıda cihaz ile yeterli yapısal noktada ölçüm ve yüksek modlarda çalışma gerçekleştirebilecektir. Bu makalede yerli bir arge gurubuyla geliştirilen kuvvetli yer ivme hareketi ölçer cihaz, cihaz üniteleri, cihaz testleri, veri toplama, yedekleme ve işlemeden oluşan ara yüzey yazılımlara sahip bir sistemin testleri ve arazi koşullarında yürütülen çalışmalarda gözlenen cihaz performansı özetlenmiştir.



Şekil 1 Kablolu yıldız bağlantı ağı, kablolu bina ağı, DAC-3HDG cihazları kablosuz iletişim

GELİŞTİRİLEN DEPREM ALGILAMA CİHAZININ TEMEL ÖZELLİKLERİ

Geliştirilen yerli tasarım DAC-3HDG içerisinde güç kartı, dijital kart ve analog kart Şekil 2 ve 3’de görüldüğü gibi birbirleriyle soketler üzerinden bağlanmaktadır. Arıza durumlarında arıza bulma süresinin minimumda tutulmasını sağlayan soketli bağlantı, arızalı parçanın söküp takılmasını arazide dahi kolaylaştırmaktadır. Arıza durumunda sadece ilgili kart ile maliyetin sınırlandırılması, bakım ve onarım maliyetlerini küçülmüş, servis desteğini kolaylaştırmıştır.

Güç kartı

Güç kartının girişinde bulunan aşırı akım ve ters bağlantı koruma devresi girişten gelebilecek yüksek voltajı engelleyerek cihazı korumaktadır. Giriş kısmından sonraki güç devreleri sayesinde geniş voltaj aralığında çalışmakta olup, kart üzerinde sistemin çalışması için gerekli tüm voltajlar üretilmektedir. Ayrıca GPS (Global Positioning System) modülü bu kart üzerinden beslenerek analog karta PPS (Pulse Per Sec.) zaman ve konum bilgisini göndermektedir. Güç kartı üzerinde ayrıca bir çok cihazın tek bir GPS noktasından çalıştırılmasının istenmesi durumu için seçenek vardır.

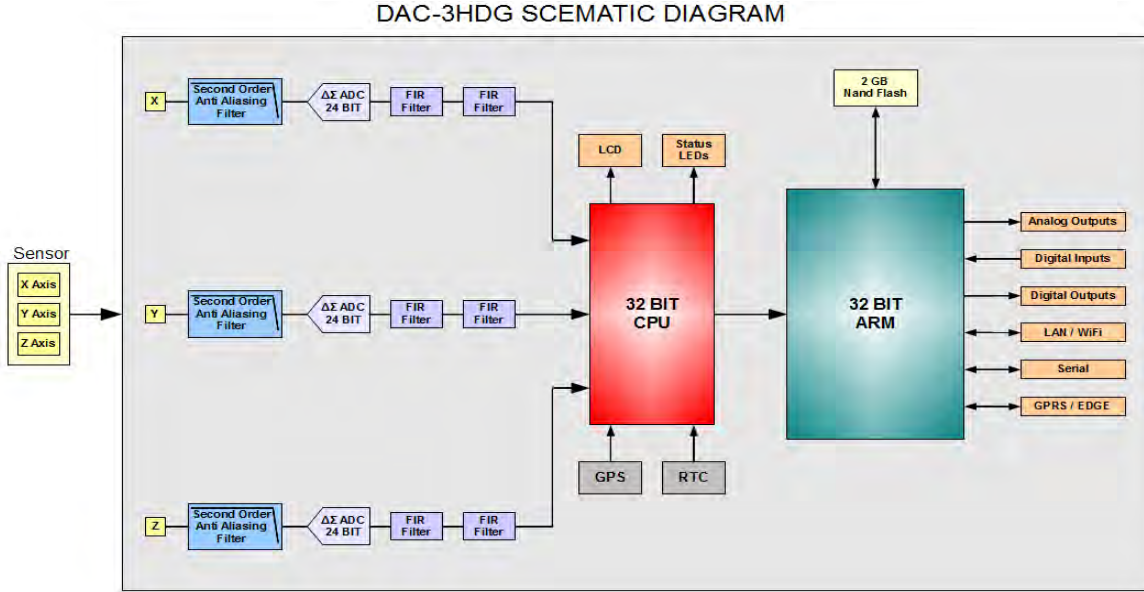
Dijital kart

Dijital kart üzerine yerleştirilmiş takılı modüllerle tüm kontrollerin yürütüldüğü merkez kontrol ünitesidir. Bu modül üzerinde ARM (Acorn Risc Machine – 32-Bit Risk işlemci) tabanlı bir mikrokontrolör ve çevre birimleri bulunmaktadır. Dijital kart üzerinde tüm verilerin saklanması

için 2GB lık bir hafıza kartı bulunmaktadır. Dijital kart cihazın dış dünya ile tüm bağlantılarını (TCP/IP, seri port) ile kontrol eder, üzerinde barındırdığı 3 adet giriş, 5 adet çıkış ve 2 adet analog çıkış sayesinde tüm otomasyon sistemlerine bilgi akışı kolaylıkla sağlanmaktadır.

Analog kart

Özellikleri Tablo 2’de verilmiş olan sayısallaştırıcı ADC (Analog2Digital Converter), filtre ve işlemci gibi bir çok kart modüllerinin soketli bağlandığı analog kart sensörlerden aldığı analog sinyali GPS’ten aldığı zaman bilgisiyle doğrulayıp süzme ve sayısallaştırma işleminden sonra paketleyerek dijital karta iletir. Analog kart ayrıca durum ledlerini ve lcd ekran konrollerini de üzerinden yürütür. Analog kart üzerinde bulunan dahili RTC (Real Time Clock) sayesinde GPS olmayan noktalarda bile sistemin çalışması sağlanır.



Şekil 2 Deprem Algılama Cihazı DAC-3HDG modelinin veri işleme akış şeması

DAC-3HDG içerisinde Şekil 3’de görüldüğü gibi üç ortogonal eksene konumlandırılmış Tablo 1’de özellikleri verilen 3 adet mems sensör bulunduran üç kanallı bir ivme ölçer olmasının yanı sıra teknolojinin son gelişmelerinin sağladığı yüksek performanslı bir sayısallaştırıcıdır. Kullanılan ADC kartı ve diğer modülleriyle alt yapının ulaştığı yüksek hassasiyet takılacak sismometreye çalışmasına da imkan vermektedir.



Şekil 3 DAC-3HDG’nin iç yapısı

- DAC-3HDG’ nin tasarım, üretim ve montajı Türkiyede yapıldığından dolayı onarımı kısa zamanda yapılabilir. Kart yazılımları ve donanımın tamamının Arel-arge merkezinin

bünyesinde yazılıp geliştirilmesinin verdiği imkan sayesinde proje ihtiyaçlarına cevap verecek yazılım modifikasyonları ve donanım değişikliği kolaylıkla yapılabilmektedir.

- Cihaz içerisinde kullanılan tüm komponentler minimum gürültü seviyesinde çalışır. Bu özelliğiyle kaliteli sinyal için iç gürültü kirliliği tehlikesi yok denecek kadar azdır. Şekil 2 ve 3’de görülen ve kullanılan ADC son teknoloji ürünü olup gerçek 24 bitin üstünde 32 bit simülasyonlu veriyi Texas instrumentin geliştirdiği yonga Delta-Sigma setleriyle üretmektedir. ADC içerisinde tasarlanmış filitre ve sayısallaştırma algoritması sayesinde sinyal kalitesi yüksek frekanslarda dahi değişime uğramamaktadır. ADC sonrasında kullanılan 2 kanal 99 tablık FIR (Finite Impulse Response) filitre ile kullanıcının tanımlayabildiği sayısal filitre cihaz içerisinde teşkil ettirilebilmektedir.
- Arel-arge merkezinin geliştirdiği yazılım MONFIRST cihazla ilgili denetim parametrelerini güncelleme, içindeki kayıtları izleme ve aktarma imkanı vermektedir. MONFIRST yazılımı ölçüm verilerini MYSQL veri kütük yapısında saklarken sadece yetkili kullanıcının arama yapmasına (genlik, tarih, istasyon, enlem-boylam ves. parametreleriyle) ilgili veriye ulaşılabilmesine, yüksek hacimli verinin saklanması ve iletimini çok hızlı gerçekleştirerek veri denetim ve yönetimine imkan vermektedir. (MySQL bir Sun Microsystems Inc. yazılımıdır).

Tablo 1. Sensör (Algılayıcı) Özellikleri

	Metrozet TS-100S	Colybris SF1500S.A
Technology	Triaxial Force-Balance	Axial MEMS Capacitive Accelerometers
Full scale range	+/- 4g	+/- 3g
Responsivity	5V/g Differential	2.4V/g Differential
Bandwidth	DC to 225Hz	DC to 2000Hz
Self Noise	20ngRMS/10Hz - 70ngRMS/100Hz - 300ngRMS/200Hz	300ngRMS/10Hz- 300ngRMS/100Hz-400ngRMS/200Hz- 500ngRMS/1000Hz
Non-Linearty	<0.015% +/-1g Range	<0.1% +/-1g Range
Offset Temp. Drift	60ug/°C Horz. / 320ug/°C Vert.	100ug/°C

Tablo 2. Sayısallaştırıcı (A2D Converter) Özellikleri

	SAYISALLAŞTIRICI
Input Range	Triaxial Force-Balance
A/D Converter	High Resolution 32 Bit Delta-Sigma, Internal Gain
Gain	1,2,4,8,16,32,64
Sampling Rate	50, 100, 200, 250, 400 sps
Filtering	Internal ADC FIR Filter
Risc/DSP	E1-16XSR / dsPIC33FJ256
Time Base	GPS, PPS
Ram	NAND Flash 2GB (6 days record)
Format and Protocol	32 Bit Integer, 1 second packets
Network	10 BaseT / 100 BaseTX Ethernet (TCP/IP)
Monitor	2X16 Character LCD
I/O	3 Isolated Digital Input / 5 Isolated Output (Option)
Power Supply	+12VDC (500mA)
Case	20cm Cylindrical / h:18cm Aluminum
Connectors	8 pin and 4 pin Industries

- Sensörden alınan analog sinyaller ADC içerisinde yüksek örnekleme hızıyla sayısallaştırılırken örnekleme frekansına uygun FIR (Finite Impulse response) filitre ile yapılandırılmış uygun band filitreleri ve Nyquist filtresiyle işlem gürültüleri veriden uzaklaştırılırken sabit fazlı ADC’nin veri giriş-çıkış (kartın işlem) süre farkı giderilmiş ve GPS ile doğrulatılmış gerçek zaman bilgisiyle saklatılmaktadır.
- DAC-3HDG 100Mbits Ethernet bağlantı noktası sayesinde tüm veri transferini güvenli ve hızlı bir şekilde TCP/IP protokolü üzerinden sağlayabilmektedir.

KABLOSUZ İLETİŞİM

Çalışılan yapılar çoğunlukla kalın duvarlarla çevrili kapalı yapılardır. Kullanılacak wi-fi (kablosuz iletişim-wireless fideality) haberleşme modülünün kalın duvarları geçebilme özelliğiyle 802.11/n protokolünü destekleyen Air-Ties firmasının AIR4420 repeaterları tercih edilerek data transferi sorunsuz hale getirilmiştir. Sistemde bütün cihazlar birbirleri üzerinden veri aktarımı yaptıkları için çok geniş alanda çok sayıda cihaz ile çalışılabilmektedir. Oysa sınırlı sayıda cihaz ile kablolu sistemler cihazların konumlandırıldığı şekle göre yıldız ve seri bağlantılar oluşturmaktadır. Yıldız bağlantıda Şekil 1’de görüldüğü gibi tüm cihazlardan merkezi kontrol noktasına (veya HUB) kablo çekilmektedir. Bu yapıda ivme ölçerden merkezi kontrol noktasına ivme değerleri analog sinyal olarak gönderilirken, uzaklaşılacak mesafe en fazla 100 metre ile sınırlı olup sinyale gürültü binmesi kaçınılmaz olacaktır. İletişimin TCP/IP üzerinden olması ise gidilebilecek mesafeyi 100 m.’nin ötesine geçirmemesine rağmen analog sinyal taşıma şekline göre çok daha güvenli ve temiz sinyal iletimini sağlamaktadır. Son olarak geliştirilen 485 data protokolüyle mesafe 800 metreye kadar ulaşmış olsada veri hızı yavaşlamıştır. Gecikmiş veri akışıyla 485 iletişim protokolü gerçek zamanlı yapı sağlığı izleme çalışmalarında verileri doğru zamanlı iletemeyecektir. Seri bağlantı kullanımı nadir olmakla beraber, sadece 485 haberleşme protokolü kullanılabileceği için 800 metrelik alan içerisine istenen sayıda cihaz yerleştirilebilmektedir. Veri transferi bağlanan cihaz sayısı orantılı olarak azalacağı için örnekleme frekansı kanal sayısına göre değişecektir.

Kablosuz saha ağ kurulumu

Kablosuz ağ kurulumu sürecinde kalitesini kanıtlamış olan AIR-TIES firmasının AIR4420 cihazı air-touch tuşuyla kolay kurulum, iletişim ve kayıpsız ve hızlı veri transferine imkan vermektedir. Wi-Fi kablosuz ağ sayesinde kablolu yıldız ve seri bağlantıdaki sorunların ve kısıtlamaların hiçbiri ile karşılaşılmamaktadır. Sisteme istenildiği kadar cihaz takılabilmekte, haberleşme ise TCP/IP protokolü üzerinden veri akış hızı cihaz sayısından etkilenmeden yüksek hızda yapılabilmektedir. Ağ kurulumunda cihazlar kimlik numaralarına göre ölçüm noktalarına yerleştirilip yanına güç ve wifi ünitelerinden oluşan ikinci modül konularak bağlanmaktadır. Cihaz seriminden sonra bina içinde orta kat seviyesinde bir noktaya kurulan bilgisayar (notebook) ve RF-modem bağlantısının USB üzerinden takılmasıyla ağ kurulumu tamamlanmaktadır. Tüm cihazlardan gelen bilgiler ekrandan cihaz sayısı kadar açılan üç bileşen kanal üzerinden izlenebilmekte, sinyal kalitesi ve diğer şartlar uygun olduğu zaman kayıt işlemi başlatılabilmektedir. Bütün bu işlemlerle beraber örneğin bir çevrel titreşim izleme yarım saat gibi kısa bir zaman diliminde tamamlanabilmektedir.

Cihaz ve bilgisayar arasında haberleşme yapısı

DAC-3HDG topladığı verileri GPS bilgisiyle senkronize şekilde saniyelik paketler haline getirmekte ve bu paketleri 32 bit CRC (Cyclic Redundancy Check) ve şifreleme algoritmalarından geçirerek wi-fi üzerinden bilgisayara gönderilmektedir. Haberleşme protokolü sayesinde gelen veri paketinin doğruluğu kontrol edilerek veri-kütüğüne kaydedilmesi aksi durumda pakette bir bozulma var ise paket numarası ile birlikte cihazdan tekrar istenmesiyle eksiklik giderilmektedir. Bilgisayar ile cihaz arasında haberleşme karşılıklı birebir kontrol (hand check) yapısı içinde gerçekleştiğinden hiçbir verinin kaybolma ihtimali yoktur.

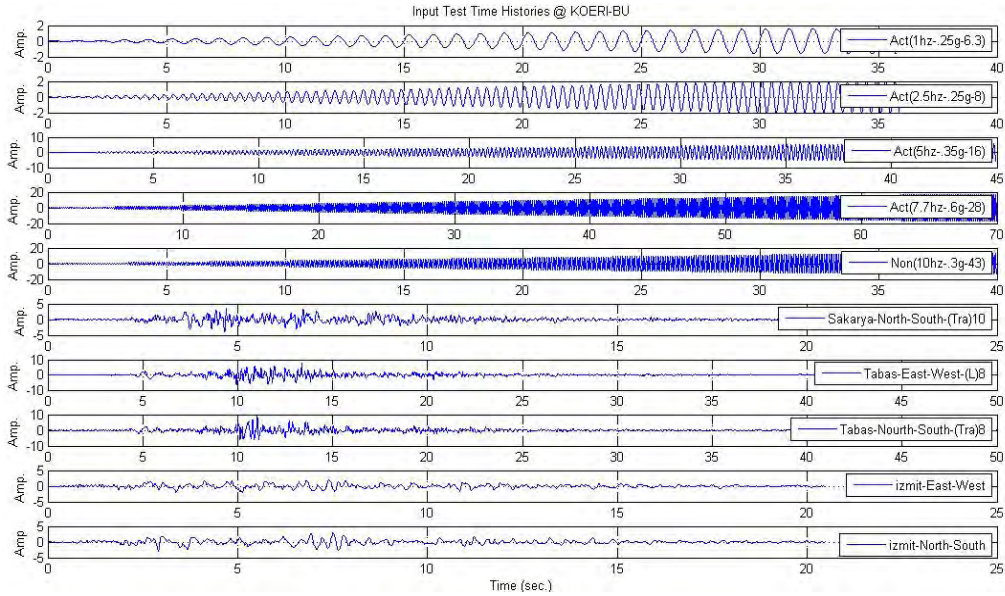


Şekil 4 Cihaz kalibrasyon testine tabi tutulan kuvvetli yer ivme ölçer cihazlar.

sinus sinyalleri ile değişik zamanlarda kaydedilmiş özellikleri çok çalışılmış Kocaeli ve Tabas (İran) depremleri sarsma masası limitleri içinde ölçeklenmiş haliyle test girdisi olarak kullanılmıştır. Performansın olduğu gibi değerlendirilmesi amacıyla cihazlar arası ölçeklendirme kayıtları uygulanmamış ve sinyallere de dokunulmadan cihaz ham çıktılarını Şekil 8’de çizilmiştir.



Şekil 6 İvme ölçer dinamik test düzeneği ve testi yürüten ekip, her bir referans cihazı üreticisinin ara yüzey yazılım ile izliyor, kaydediyor ve veriyi ascii formatında saklıyor.



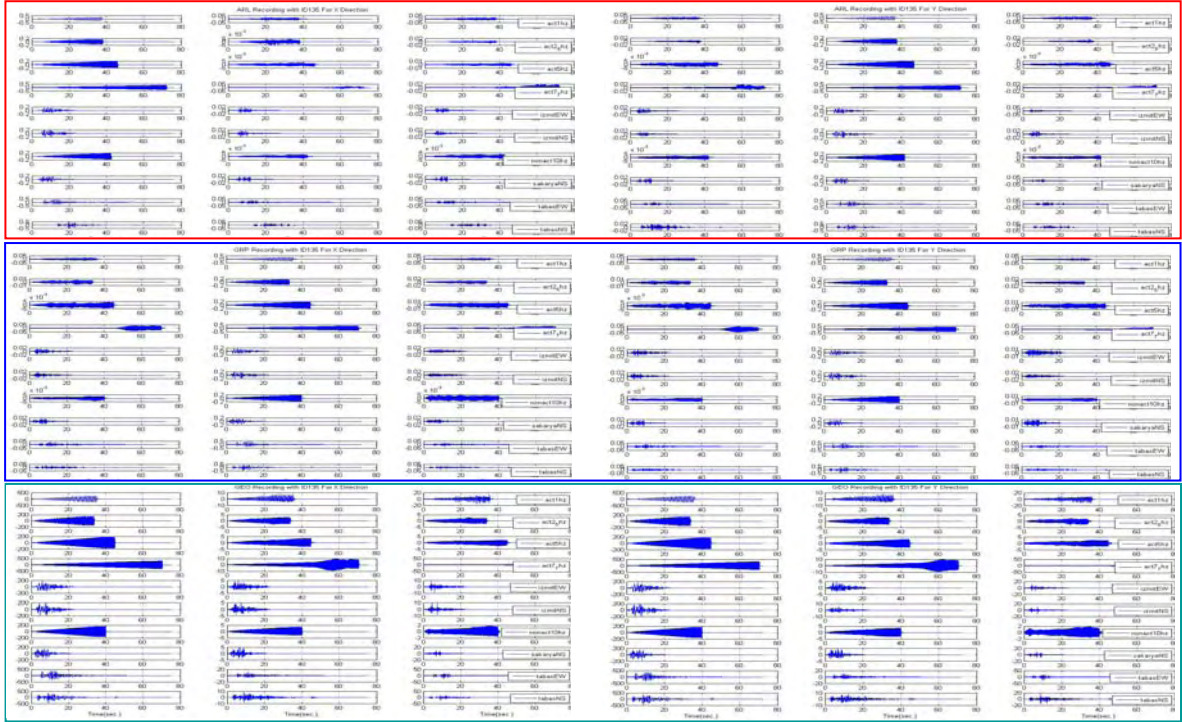
Şekil 7 Cihaz testlerinde kullanılan kayıtların zaman hikayeleri.

Testlerde girdi hareketi tek eksenle uygulanmasına rağmen cihazların 3 eksenle de aldığı kayıtlar saklanmıştır. Diğer ortogonal iki eksen sensörlerinin hareketlendirilen yön dışında olmaları nedeniyle kaydettikleri test girdisine beklendiği gibi benzemeyeceği aşikardır. Bu durum diğer referans cihazlarının hareketlendirilen bileşen dışındaki diğer iki eksen sensörleri içinde söz konusudur. Bu pasif iki eksen sensörü üzerindeki kayıtlar cihazların elektronik düzeneklerinin (elektronik gürültü, kard içi iletişim gürültüleri, ısının neden olduğu hatalar, işlemci (sıpmaları) hataları vs.) gürültülerinin seviyesine bakılması açısından anlamlı bir veri olarak değerlendirilmiş, çalışmada benzer bileşenlerin çapraz korelasyon analizlerini temel alan stokastik gürültü analizleri yapılmış, cihaz alt eşik gürültü seviyelerinin Tablo 1 ile tutarlı olduğu gözlenmiştir.

Cihaz performansları

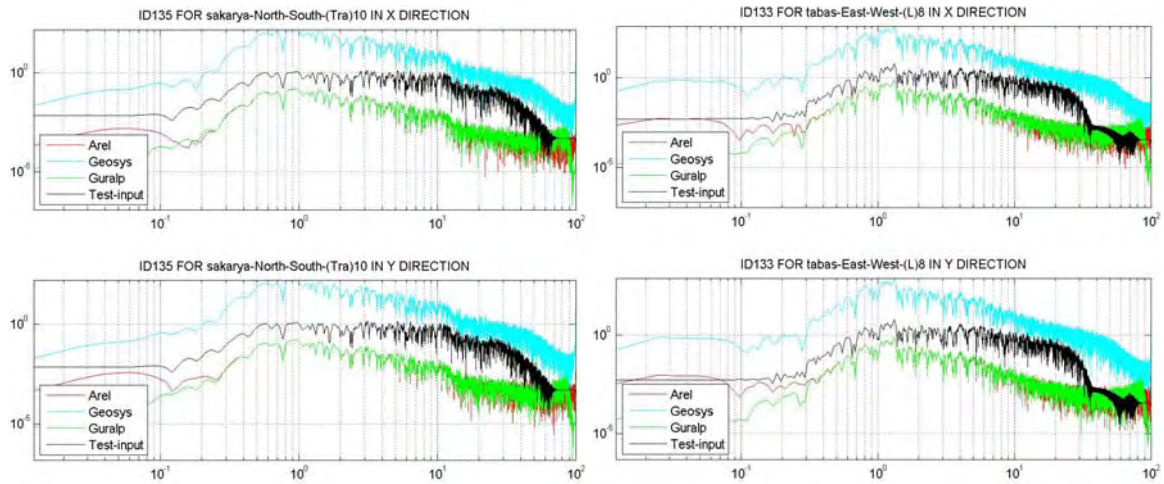
Şekil 8’de, ilk üç kolon (x,y,z bileşenler), x yönünde uygulanan kuvvet için, ikinci üçlü kolon ise y yönünde uygulanan kuvvet için olmak üzere, üstten AREL ile başlayıp Güralp ve GeoSig ile biten kayıt setleri arasında göreceli ölçeklendirme katsayıları uygulanmadan dahi kayıtlarda tutarlılık görülmektedir. Zaman tanım alanında görülen şekli (genlik, zaman süresi, dalga formu, zarfı vs.) tutarlılığın yanısıra frekans muhteviyatındaki tutarlılığı tespit etmek üzere Fourier dönüşümleri 600 veri için hesaplanmıştır. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Sakarya kaydı Kuzey-Güney bileşeni sarsma masasına cihazların x-yönü sensörlerini izlemek için yüklenmiş ve kayıtların

frekans muhteviyatı örnek olarak Şekil 9’da sol kolona, Tabas (İran) depreminin Doğu Batı bileşeni yine sarsma masasında x-yönü sensörleri aktive etmek için yüklenmiş ve frekans muhteviyatı Şekil 9’da sağ kolona çizilmiştir.



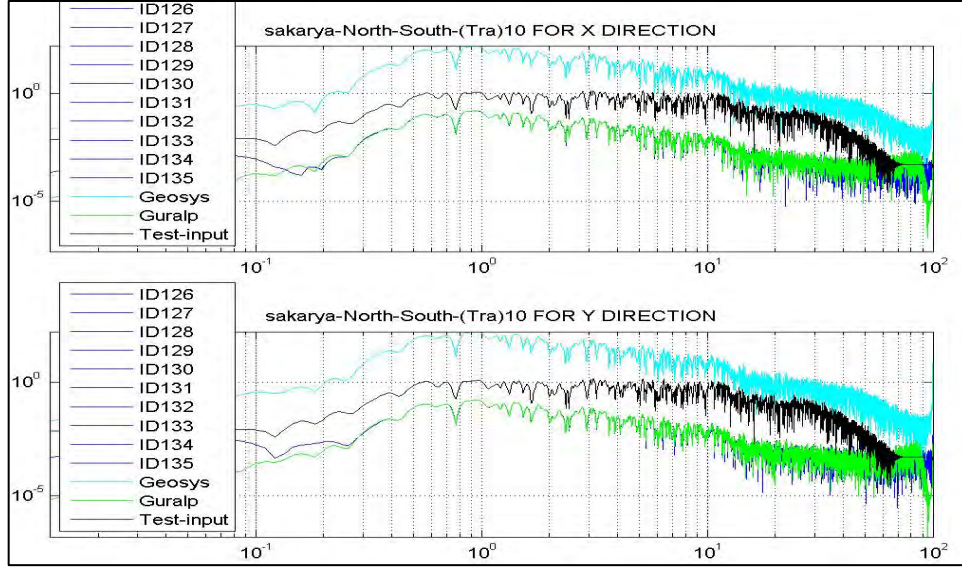
Şekil 8 Testde iki yatay yönde kuvvet uygulanmasıyla üstte AREL, ortada Guralp ve altda GeoSig tarafından kaydedilmiş üç bileşen kayıtları.

Üç ayrı ivme ölçer için Şekil 9 incelendiğinde cihazlardan Guralp ile AREL’in aynı frekans muhteviyatını bire bir kaydettiklerini, eğer cihaz ölçeklendirme faktörü GeoSig için uygulansa benzer bir tutarlılığın GeoSig ile de sağlanacağı anlaşılmıştır. AREL ivme ölçer cihazlarının cihaz kimlik numarası id-126’dan id-135’e kadar giden on cihaz için, sarsma masasında uygulanan Kocaeli depreminin Sakarya istasyon kaydının Fourier genlik spektrumları referans cihazlarla



Şekil 9 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Sakarya kaydı Kuzey-Güney bileşeni x-yönü yüklemesi sol kolon, Tabas (İran) depremi Doğu-Batı bileşeni x-yönü yüklemesi için sağ kolonda frekans içerikleri üç ayrı ivme ölçer için çizdirilmiştir.

beraber Şekil 10'da çizilmiştir. Şekil 10'da mavi ile çizilen AREL-DAC cihazlarının tamamının aynı kalitede performans gösterdiğinin bir ölçüsü olarak on grafiğin üst üste çakışmasını görüyoruz. 10E6-10E9 mertebelerinde büyütme uygulandığı zaman grafiklerde çok ufak farklılıkların olduğu ancak anlaşılabilir.



Şekil 10 AREL ivme ölçer cihazlarının (cihaz kimlik numarası id-126 ile id-135 arasındadır ve mavi ile çizilmiştir) Kocaeli depremi Sakarya istasyon deprem kaydı için kaydettiği frekans muhteviyatı diğer referans cihazların frekans performansıyla (yeşil Guralp, mavi GeoSig) mukayesesi.

Cihaz performansları üzerine sonuç

Referans cihazlar GeoSig ve Guralp markalarının yanında dinamik test uygulanan AREL-DAC serisi on adet cihazın performansları zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında yüksek kalitede veri ve işlem güvenilirliğinin yanı sıra 32 bit desteğiyle, sayısallaştırıcı donanım, işlem kartları, iletişim kartları ve yedekleme ünitesiyle emsallerinden üstün, kaliteli ve güvenilir veri algıladığı ve işlediği anlaşılmıştır.

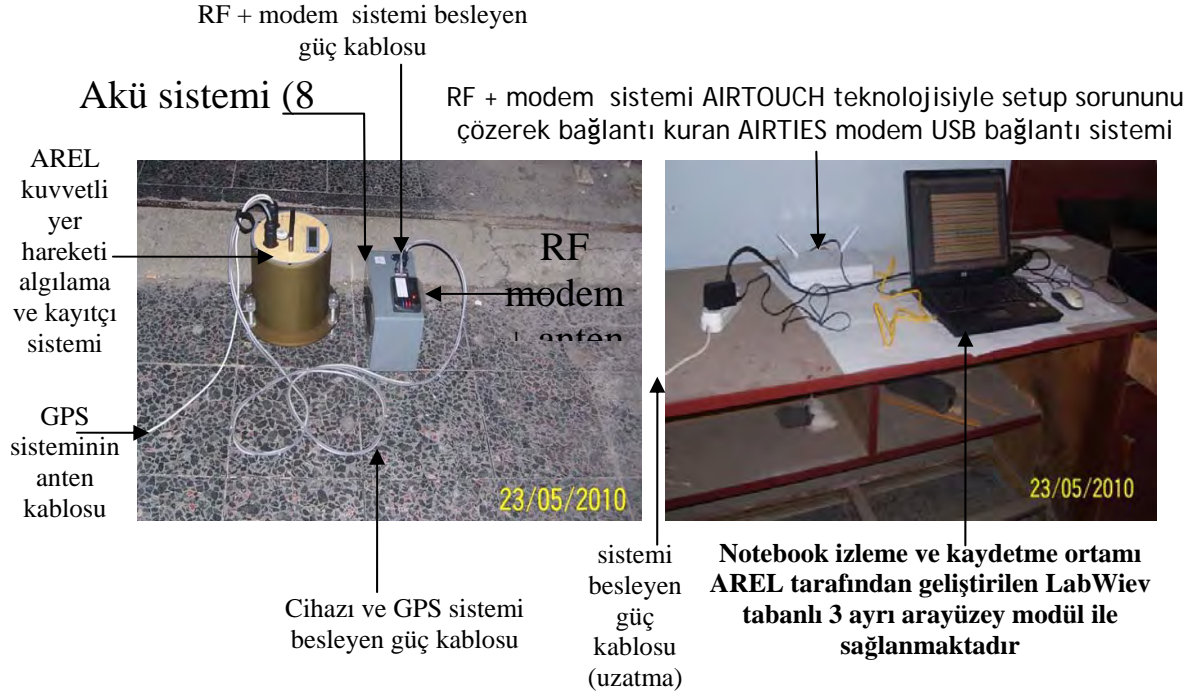
CİHAZLARIN SAHA ÇALIŞMALARINDA DİĞER DÜZENEKLERLE KULLANIMI

AREL-DAC serisi cihazlar sahada Şekil 11'de görüldüğü gibi RF+modem, GPS anten ve güç ünitesiyle beraber kullanılmaktadır. Sekiz saate kadar enerji sağlayan güç ünitesi kesintisiz ve sabit amperajda akımı besleyen şarj ve deşarj stabilitesini koruyan elektronik bir kart ile desteklenmiştir. Bu güç ünitesi Radio Frequency (RF) modem ünitesini, GPS'i cihaz ile aynı zamanda beslemektedir.

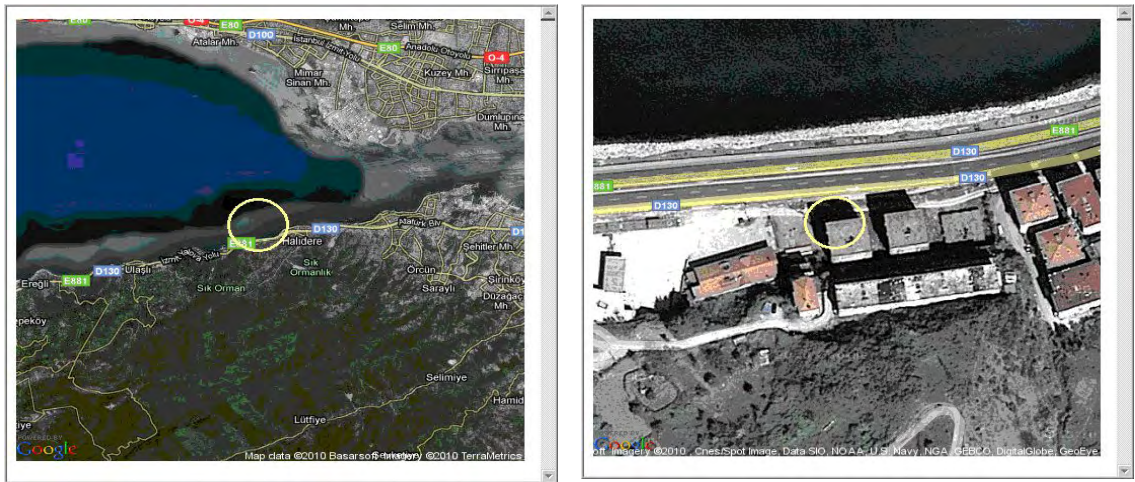
AREL-DAC ile sağlanan bir diğer önemli saha desteği ise GPS-anten modülüdür. GPS-uydu iletişimi, çalışılan yapının enlem-boylam bilgilerinin yanı sıra yapının bulunduğu bölgenin harita görüntülerini Şekil 12'de gösterildiği gibi arka planda çalışan yazılım sayesinde 'inf' uzantılı bilgi dosyasında enlem-boylam, cihaz kimliği (ölçüm noktası bilgisi), polarizasyon bilgisi, ölçüm büyüklüğü, ölçüm zamanı (GMT – Greenwich Mean Time) gibi bilgilerle beraber saklamaktadır. Sahada kullanılan izleme-kaydetme ara yüzü cihazlarda gereken parametrik (filtre eşikleri, pencereleme, sayısallaştırma frekansı, kayıt uzunluğu vesair) ayarları yeniden yapılandırmakta ve uluslararası veri saklama formatına uyarak ölçümler arka planda MYSQL veri saklama motoru tarafından yedeklenmektedir.

Saha çalışması

TUBITAK 108M303 numaralı proje kapsamında toplam 39 farklı çevrel titreşim ölçüm çalışması, mikrotremor ölçüm çalışması ve deprem şartlarını yaşatan zorlama kuvvet testleri yürütülmüş, toplam 6 GB (GigaBite) hacim tutan saha verisi projenin önemli bir ayağını oluşturmuştur. Saha çalışmalarının tamamına arge gurubu katılmış, çalışmış, cihaz performansını, testlerde karşılaşılan problemleri yerinde yaşamış, görmüş ve teknik desteğini, birikimlerini cihazın ve yazılımların gelişimi için kullanmışlardır. Bu süreçte yürütülen sayısız testlerden Şekil 13'de Karamürsel A blokta çevrel titreşim kayıtları, Şekil 14'de ise zorlama kuvvet şartlarında yapısal dokuz nokta ve serbest alan istasyonda alınan zaman geçmişlerinin ham hali çizdirilmiştir. Alınan kayıtların kullanıldığı analiz ve tanı sonuçları değişik makalelerde [9, 10] bulunabilir.



Şekil 11 AREL ivme ölçer cihaz ve saha destek üniteleri solda, kablosuz iletişim/transfer güvenliği en üst seviyede otomatik kurulum ve güvenlik ayarlarını yapan AIRTOUCH teknolojisiyle çalışan sistemin sahada görünümü sağda.

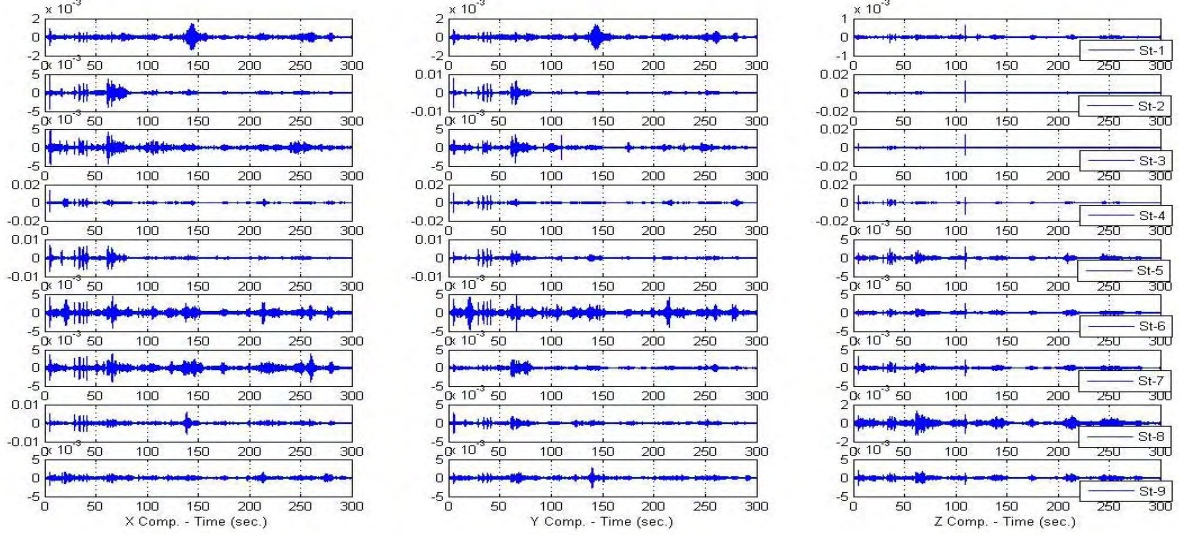


Şekil 12 Çalışılan yapıların uydudan genel görünümü solda, yakın alan yerel görünümü sağda Karamürsel A-Blok için AREL-DAC ivme ölçerin GPS modülü üstünden elde edilen haritalar

SONUÇLAR

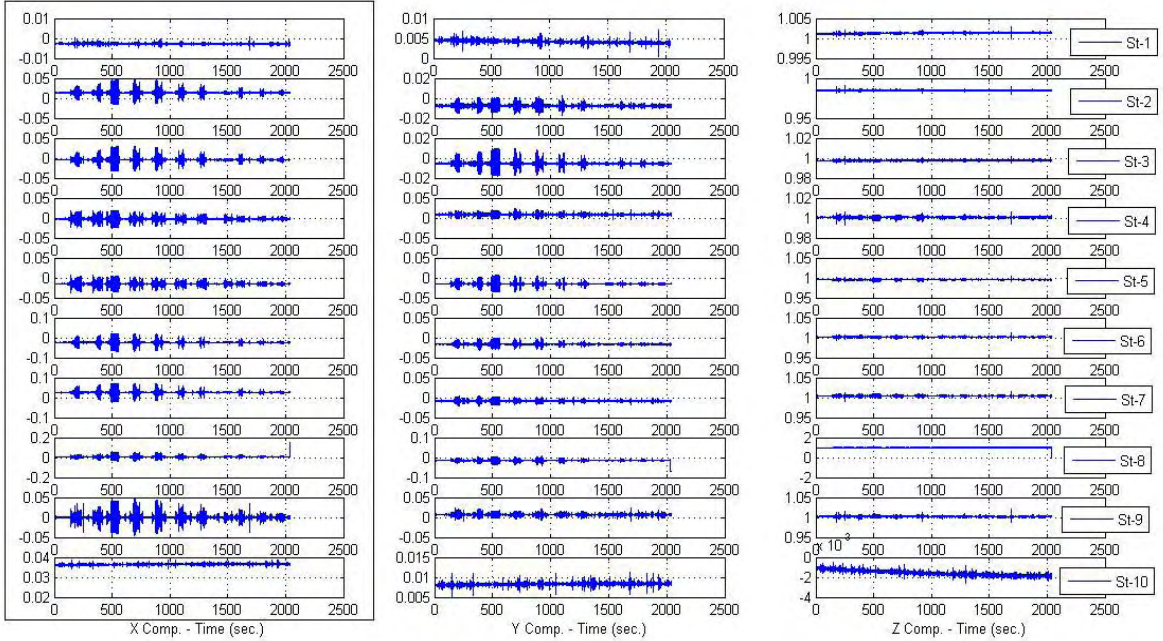
Yapı çalışmalarında önemli bir sıkıntı oluşturan cihaz ve ilgili saha donanımlarında dışarıya bağımlı, zaman alan çözüm süreci, yerli tasarım ve üretim ile biraz içerden destek ve çözümün üretilebileceği bir mecraya kaymış oldu. Geliştirilen deprem algılama cihazı ve diğer düzenekleri kablosuz ağ yapısı içinde 32 bit yonga simulasyonu ile kaliteli sinyal tutma, GPS ve zamanlama üniteleriyle, yapı sağlığı izleme amaçlı kullanıma uygun doğru zaman ve sinyal bilgisi sağlamaktadır.

Ambient Vibration Measurement Data For kmursel-ABlok-set-3



Şekil 13 DAC-3HDG'lerin kullanıldığı 3 kanallı 9 istasyondan oluşan yapısal noktalar üzerinde kaydedilmiş çevrel titreşim kayıtları

Kmursel-A-Blok-Shaker-X-ALL-20100917 Forced Vibration Measurements



Şekil 14 Karamürsel A blok, x yönünde yapılan değişik genlik ve frekans muhteviyatına sahip yapıy deprem tekrarlarının DAC-3HDG ile kaydedilen 2100 sanlık tepki-zaman geçmişi.

Referans cihazlar GeoSig ve Guralp markalarının yanında dinamik test uygulanan AREL-DAC serisi on adet cihazın performansları zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında yüksek kalitede veri ve işlem güvenilirliğinin yanısıra 32 bit desteğiyle, sayısallaştırıcı donanım, işlem kartları, iletişim kartları ve yedekleme unitesiyle emsallerinden üstün, kaliteli ve güvenilir veri algılama yapısına sahip olduğu anlaşılmıştır.

Teşekkür

Bu makalede bazı sonuçları verilen proje çalışması TUBİTAK 108M303 koduyla desteklenmiştir. Katkılarından dolayı yazarlar teşekkürlerini sunar. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Bölümünün, deprem laboratuvarında cihaz testleri yürütülmüştür. Yardımları için sayın hocalarımız Prof. Dr. Mustafa Erdik ve Prof. Dr. Erdal Şafak'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Farrar, C.R.; and Worden, K., 'An Introduction to Structural Health Monitoring', Philosophical Transactions of the Royal Society, 365: 303-315 pp, (2007).
- [2] J. P. Lynch and K. J. Loh., 'A summary review of wireless sensors and sensor networks or structural health monitoring', Shock and Vibration Digest, vol. 38, no. 2, pp. 91-128, 2005.
- [3] Y. Wang, 'Wireless sensing and decentralized control for civil structures: theory and implementation', Ph.D. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, California, USA, 2007.
- [4] J. P. Lynch, A. Sundararajan, K. H. Law, A. S. Kiremidjian, T. Kenny, and E. Carryer, 'Embedment of structural monitoring algorithms in a wireless sensing unit', Structural Engineering and Mechanics, vol. 15, no. 3, pp. 285-297, 2003.
- [5] S. D. Glaser, M. Li, M. L. Wang, J. Ou, and J. Lynch, 'Sensor technology innovation for the advancement of structural health monitoring: a strategic program of US-China research for the next decade', Smart Structures and Systems, vol. 3, no. 2, pp. 221-244, 2007.
- [6] <http://www.areldepem.com.tr>
- [7] <http://www.geosig.com>
- [8] <http://www.guralp.com>
- [9] İ. Engin Bal ve diğ., 'Testing Assessment Procedures with a Damaged Real Building', 14ECEE, 2010, Ohrid, Makedonya Cumhuriyeti.
- [10] Kemal Beyen ve diğ., 'Çevrel ve Zorlama Kuvvet Titreşimleri Altında 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Hasar Almış Binaların Yapı Tanı Çalışmaları', 7UDMK, 2011, İstanbul.