Baz İstasyonu Ölçümlerinin Konuma Bağlı Olarak Gerçek Zamanlı Kaydedilmesine Yönelik Arayüz Geliştirilmesi

Mehmet DEMİRTAŞ[1*], Ahmet BİBİ[2]

[1]Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği
[2]Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Bilişim Sistemleri
mehmetd@gazi.edu.tr, ahmetbibi@gmail.com
(Geliş/Received:29.05.2017; Kabul/Accepted:07.10.2017)
DOI: 10.17671/gazibtd.316658

Özet— Kablosuz haberleşme sistemlerinde yaşanan önemli gelişmeler, her alanda büyük faydalar sağlamaktadır. Özellikle, kablosuz haberleşme sistemlerinin en önemli parçası olan hücresel haberleşme sistemlerinin gelişmesi, bilgiye konumdan bağımsız olarak erişebilmeye olanak tanımaktadır. Dördüncü nesil hücresel haberleşme ile veri hızları yüksek seviyelere çıkmıştır. Bu sayede, akıllı telefonlar bilgisayar rolünü üstlenmiş ve veri alışverişinde kullanılmaya başlamıştır. Bu gelişmeler baz istasyonlarının sayıca çok fazla artmasına neden olmuş ve kablosuz haberleşmede kullanılan elektromanyetik alanlar yaşamamıza dahil olmuştur. Elektromanyetik alanların seviyesini ölçmek, ulusal ve uluslararası düzenlemelerle belirlenen limit değerlere uygunluğunu tespit etmek amacıyla; elektromanyetik alan ölçümleri gerçekleştirilmektedir. Ayrıca akademik çalışmalarda elektromanyetik alan kirlilik haritaları oluşturma amaçlı ölçümler de yapılmaktadır. Bu çalışmada, baz istasyonu ölçümlerinde ve elektromanyetik alan kirlilik haritalarının oluşturulmasında gerekli olan ölçüm, zaman ve konum verilerinin bir arayüz ile android telefonlarla elde edilebilmesi incelenmiş ve bu amaçla bir uygulama geliştirilmiştir. Tasarlanan yeni sistem ile ölçüm işlemleri daha basit ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca tasarlanan yazılımın kolay geliştirilebilir olması, harici bir GPS, bilgisayar vb. çevre ekipmanlar olmadan sadece ölçüm cihazıyla gerekli verileri otomatik olarak kaydetmesi ve raporlaması sistemin diğer bir avantajı olarak görülmektedir.

Anahtar Kelimeler— Android, Baz İstasyonu Ölçümü, Elektromanyetik Alan Kirlilik Haritaları, Elektromanyetik Alan Ölçümü

Developing an Application for Real-Time Recording of Base Station Measurements Dependent on Location

Abstract— Significant developments in wireless communication systems, provides great benefits in every area. In particular, the development of cellular communication systems, the most important part of wireless communication systems, allows information to be accessed independently of the location. With the fourth generation cellular communication, data rates are high. At this point, smartphones have taken over the computer role and are beginning to be used for data exchange. These developments have caused the number of base stations to increase very much and the electromagnetic fields used in wireless communication have been included in our life. To measure the level of electromagnetic fields and to determine compliance with the limit values determined by national and international regulations; electromagnetic field measurements are performed. In addition, measurements are made to create electromagnetic field pollution maps in academic studies. In this study, it was investigated whether measurement, time and location data required for base station measurements and creation of electromagnetic field pollution maps can be obtained with android phones with an interface and an application has been developed for this purpose. With the new system, the measurement process is carried out more simply and safely. In addition, it is another advantage of the system that the designed software can be easily developed and automatically record and report the required data only by connecting the measurement device to the phone without peripheral equipment such as an external GPS, computer etc.

Keywords— Electromagnetic Field Pollution Maps, Electromagnetic Field Measurements, Base Station Measurements, Android

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kablosuz haberleşme sistemlerinin gelişmesi, özellikle hücresel haberleşme sistemlerinin ileri seviyelere ulaşması, günlük hayatımıza büyük katkılar sağlamıştır. Konumdan bağımsız olarak ulaşılabilir olma, yüksek hızlarda ses ve veri iletimi, internete her an bağlanabilir olma gibi özellikleri nedeniyle hücresel haberleşme sistemleri hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmuştur.

Hücresel haberleşme sistemlerinde, kapsama ve trafik yükü beklentilerini karşılamak amacıyla baz istasyonu sayıları her geçen gün artmakta ve bu da özellikle yerleşim alanları içinde elektromanyetik alan yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır [1]. Bütün faydalarına rağmen hücresel sistemlerin altyapısı olan baz istasyonlarının sayılarının artması ve yaşam alanlarının içine kadar girmesi birtakım çekinceleri de beraberinde getirmektedir.

Baz istasyonlarından kaynaklanan elektromanyetik alan seviyelerinin ölçülmesi, limit değerlere uygunluğunun kıyaslanması ve bir bölgedeki elektromanyetik alan kirliliğinin haritalanması uzun zamandır hem akademik çalışmaların hem de konu ile ilgili düzenleyici kuruluşların ilgi odağı olmuştur.

Türkiye'de denetim amaçlı ölçümlerin kimler tarafından ve ne şekilde yapılacağı, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından yayımlanan "Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik" ile belirlenmiştir. Bu yönetmeliğe göre denetim amaçlı ölçümler BTK ve bu kurum tarafından yetkilendirilen Ölçüm Yetki Belgeli kuruluşlarca yapılmaktadır [2].

Düzenleyici ve denetleyici kuruluşlarca denetim amaçlı yapılan ölçümlerde ve incelenen araştırmalarda elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturma çalışmaları literatürde oldukça fazladır. Ancak bu çalışmalarda aşağıda belirtilen normal ölçüm düzenekleri kullanılmaktadır.

Bir bölgeye ait elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturma çalışmalarında genellikle bir ölçüm düzeneği hazırlanır. Bu ölçüm düzeneğinde; ölçüm cihazı, konum belirleme cihazı (GPS), bilgisayar, gerekli aktarma kabloları ve gerekli yazılımlar bulunmaktadır. Veriler bilgisayar aracılığıyla ayrı ayrı alınmakta ve manuel olarak kaydedilmektedir. Haritalama işlemleri, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile gerçekleştirilmekte ve bunun için de konuma bağlı ölçüm verileri gerekmektedir. Literatürde elektromanyetik alan ölçümü ve elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturulması ile ilgili yapılan yurtiçi ve yurtdışı çalışmalardan bazıları ve kullanılan sistemler incelenecek olursa;

Amerika'da geniş coğrafi alanlardaki çevrede elektromanyetik alan şiddetinin hesaplanması için GPS tabanlı bir ölçüm sistemi kurulmuş ve elde edilen veriler bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir [3]. Japonya'da büyük ölçekli güç sistemleri GPS ile senkronize edilmiş bir sistem geliştirilerek elektromanyetik kirlilik seviyesi izlenmiştir [4]. 2009 yılında İtalya'nın Monselice şehrinde yapılan bir çalışmada ise 16 kilometrekare alanda 11 baz istasyonundan alınan ölçümler Gauss-Boaga koordinatları ve uzak alan formülü kullanarak haritalanmış, elde edilen veriler ışığında elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturulmuştur [5]. 2015 yılında Romanya'nın Timisoara (Temeşvar) şehrinde 900, 1800 ve 2400 Megahertz (MHz) frekans aralıklarında değişen kaynaklardan alınan ölçümler GPS verisiyle birlikte kullanılarak haritalanmıştır [6]. Yapılan bu çalışmalarda bilgisayar tabanlı sistemler ve yazılımlar kullanılarak haritalama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizde konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, Ankara, İzmir ve İstanbul şehirleri için elektromanyetik kirlilik haritaları hazırlanmış, bu haritalar ölçüm verileri ve GPS cihazından ayrıca alınan koordinat verileri ile harmanlanarak elde edilmiştir [7]. Ankara ili için yapılan başka bir çalışmada radyo-TV vericileri ile baz istasyonlarının yoğun bulunduğu bölgelerde belirlenen noktalarda Narda firmasının genişband ölçüm cihazı EMR 300 cihazıyla ölçümler yapılmış ve bu noktalardaki elektromanyetik kirlilik haritası hazırlanan bir yazılımla oluşturulmuştur [8]. Bu uygulama benzeri uygulamalar Konya, Diyarbakır, Karaman ve Balıkesir şehirleri için de gerçekleştirilmiş, ölçümlerde diğer sistemlerde kullanılanların benzeri düzenekler kullanılmış ve haritalama işlemleri ise hazır CBS yazılımları aracılığıyla yapılmıştır [9-12].

Literatür incelenmesinde de görüldüğü gibi elektromanyetik alan ölçümü ve elektromanyetik alan kirliliği haritalama işlemlerinde kullanılan sistemler hem ölçü aleti, bilgisayar ve GPS hem de ilave ölçüm ve değerlendirme yazılımı içermektedir. Bu ekipmanların kullanımı maliyeti artırmakta ve elde edilen veriler manuel olarak kaydedildiğinden ölçüm işlemini daha da karmaşık bir hale getirmektedir.

Bu çalışmada ise android işletim sistemine sahip bir telefona sadece ölçüm cihazı bağlanması ve geliştirilen uygulama aracılığıyla ölçüm verilerinin gerçek zamanlı ve harici bir GPS cihazına gerek duymaksızın konum bilgisi ile birlikte kaydedilmesi amaçlanmıştır. Kaydedilen bu veriler denetim işlemlerinde ve elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturma işlemlerinde kullanılabilecektir. Oluşturulan android tabanlı yazılım ve cep telefonu kontrollü ölçüm sistemi sayesinde, ölçüm sisteminin maliyeti düşürülmüş, verilerin gerçek zamanlı ölçülmesi ve değerlendirilmesi işlemi daha basit bir hale getirilmiş ve kullanılan cep telefonu yardımıyla konum bilgisinin otomatik olarak alınması sağlanmıştır. Tasarlanan yazılımın basit olması ve diğer uygulamalara kolay uyum sağlayabilmesi sistemin avantajları olarak görülmektedir.

Geliştirilen sistemin avantajlarının yanında bir takım sınırlılıkları vardır. Sistem, android işletim sistemli akıllı telefonlar için bir uygulama olarak geliştirildiğinden GPS özelliğinin kullanılabilmesi için hücresel sistem 3G/4G şebekesine bağlı olmayı gerektirmektedir. Şebeke sinyalinin hiç olmadığı yerlerde sistemin kullanımı mümkün olmamakta, zayıf olduğu bölgelerde ise GPS konum verisinin doğruluğu düşeceği için harici bir önlem alınması gerekmektedir. Diğer bir sınırlılık ise elektromanyetik alan ölçümü esnasında telefonun açık tutulması gerekliliğidir. Bu durum sistemin çalışması için kritik önem taşımaktadır. Ayrıca ölçüm cihazı ile telefon arasındaki bağlantı fiber optik kablo aracılığıyla gerçekleştirildiğinden yeteri kadar mesafede telefon etkisinin ihmal edilebileceği düşünülmektedir.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde elektromanyetik alanlar ve kaynakları hakkında bilgi verilmiş, elektromanyetik alan ölçüm yöntemleri, yasal çerçeve, CBS ve elektromanyetik alan kirlilik haritaları incelenmiş ve gerçekleştirilen uygulamanın detayları anlatılmıştır.

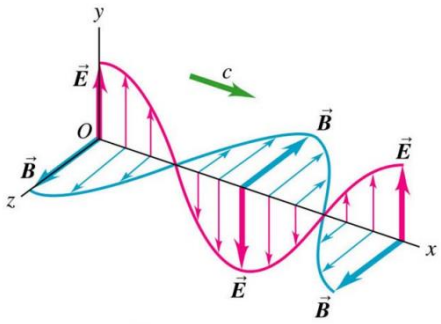
2. ELEKTROMANYETİK ALANLAR (ELECTROMAGNETIC FIELDS)

2.1. Elektromanyetik Alanlar ve Temel Kavramlar (Electromagnetic Waves and Basic Concepts)

Alan; belirli bir bölgeye dağılmış bulunan ve o bölgedeki herhangi bir cisme etki eden fiziksel bir nesnedir; elektromanyetik alan denilince çevrede yayılmış bulunan elektrik ve manyetik alan anlatılmak istenir [13]. Aynı kaynaktan yayılan elektrik ve manyetik alanlar, elektromanyetik alanı oluşturur; bu alanlardan yayılan dalgalara ise elektromanyetik dalgalar adı verilir [1]. Diğer bir deyişle elektromanyetik alan, hareketli veya hareketsiz elektriksel yükler arasındaki etkileşimin iletimidir [14].

Uzayın her noktasında zamanla değişen ve elektrik ve manyetik alan vektörleri ($\vec{E}$ ve $\vec{B}$) ilerleme yönüne dik olarak hareket ediyorsa düzlem elektromanyetik dalga olarak adlandırılırlar. Elektrik ve manyetik alanın ilerleme yönünde herhangi bir bileşeninin olmaması düzlem dalga olarak (TEM dalga) nitelendirilmektedir.

Bir elektromanyetik dalga kaynağından yeteri kadar uzakta yani "uzak alan" şartlarında, elektrik alan, manyetik alan ve yayılma yönünün birbirine tam dik olduğu koşullarda elektromanyetik dalga yüzeyi düzlem sayılmaktadır. Elektromanyetik dalgaların herhangi bir iletim ortamında yayılması olayına elektromanyetik ışınım adı verilir. Kablosuz haberleşme sistemleri elektromanyetik dalgaların bu özelliğini kullanır ve bu dalgaların elektrik ve manyetik alanları birbirine ve yayılım yönüne diktirler [7]. Şekil 1'de düzlem elektromanyetik dalgaların boşlukta yayılımı verilmiştir.



Şekil 1. Düzlem elektromanyetik dalgaların boşlukta yayılımı
(Propagation of transverse electromagnetic waves in free space)

Düzlem dalga varsayılabilen koşullarda elektrik alan ve manyetik alan arasında lineer bir ilişki bulunması, hesaplamalarda büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu suretle ölçümlerde elektrik ve manyetik alanlardan sadece birinin ölçülmesi yeterli olmakta ve diğeri de bu ölçümden hesaplanabilmektedir. Uzak alan şartlarının oluşmadığı durumda ise (örneğin verici anten yakınında) elektrik alan, manyetik alan ve yayılma yönü arasında lineer bir ilişki bulunmadığından bunun fiziksel çözümlemesi daha karmaşık olmaktadır.

2.2. Elektromanyetik Alan Kaynakları (Sources of Electromagnetic Field)

Elektromanyetik alan kaynakları doğal kaynaklar ve yapay kaynaklar olmak üzere iki sınıfta incelenebilir. Gök gürültülü havalarla ilişkili atmosferdeki elektrik yüklerinin birikimi ile üretilen elektrik alanları ile yıldırım, şimşek vb. doğa olayları sonrasında oluşan ve dünyanın çevresinde bulunan manyetik alanları doğal kaynaklara örnek gösterilebilir. Doğal olayların dışında kalan istemli veya istemsiz üretilen bütün kaynaklar ise yapay alan kaynaklarıdır. Elektrikle çalışan cihazlar, X-ray cihazları, haberleşme sistemleri, elektrik iletim hatları vb. bütün kaynaklar yapay alan kaynaklarıdır [15].

Doğal ve yapay kaynakların oluşturduğu elektromanyetik alanların bileşkesi, ortamın elektromanyetik kirliliğini (elektromanyetik alan seviyesini) oluşturur. Her bir kaynağın frekans yayılımının farklı olduğu düşünüldüğünde ortamın elektromanyetik kirliliği çok geniş spektrumda oluşmaktadır. Örneğin şebeke geriliminin oluşturduğu alanların frekansı 50 Hertz (Hz) iken bir baz istasyonunun oluşturduğu alanların frekansı 800 MHz ile 2600 MHz arasında değişmektedir.

2.3. Uzak Alan Kavramı (Far Field Concept)

Elektromanyetik alan kaynağına belirli bir mesafe uzaklıktan sonraki uzaklıklar uzak alan bölgesi (far-field region) olarak tanımlanmaktadır. Normal yaşamda insanlar genellikle uzak alan bölgesinde bulunmaktadır. Yapılan ölçümler de genellikle uzak alan şartlarını sağlamaktadır. Bu çalışmada geliştirilen uygulama ile de

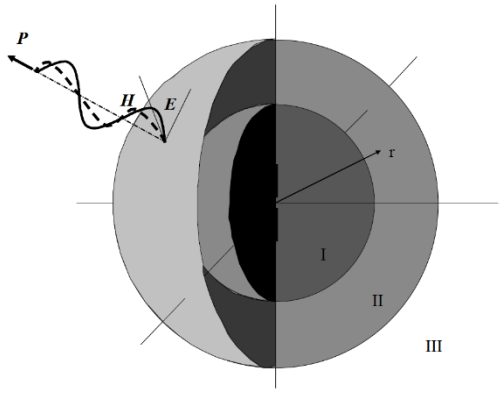
uzak alan şartlarında gerçekleştirilen baz istasyonu ölçümlerinin verileri elde edilmektedir.

Uzak alan bölgesinin anten yarıçapı, anten boyu ve başlangıç sınırı Eş. 1 formülü ile hesaplanır. Bu bölgede açısal alan dağılımı antene uzaklıktan bağımsız hale gelir ve bu bölgede elektrik alan ve manyetik alan vektörleri birbirine ve yayılım yönüne diktir [16-18].

$$r \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (1)$$

Bu formülde r reaktif yakın alan uzaklığını, D anten boyunu ve λ ise dalga boyunu metre (m) cinsinden temsil etmektedir.

Şekil 2'de bir anten için temsili gösterim yapılmıştır ve III. Bölge ile gösterilen alan uzak alanı simgelemektedir [16]. Şekil 2'de de görüldüğü üzere uzak alan bölgesinde elektrik alan vektörü (E ile gösterilen), manyetik alan vektörüne (H ile gösterilen) diktir. Ayrıca bu iki vektör yayılım yönüne (P ile gösterilen) de diktir ve bu vektörler uzak alanda antene olan uzaklıktan bağımsız hale gelmektedir.



Şekil 2. Uzak alan bölgesi
(Far field region)

Tablo 1'de 0,5 m, 1 m ve 1,5 m uzunluktaki anten için hücresel haberleşme baz istasyonlarında kullanılan frekanslarda uzak alan başlangıç uzaklıkları görülmektedir [15].

Tablo 1. Uzak alan başlangıç mesafeleri
(Initial distances of far field)

Frekans (MHz)	**Uzak Alan Başlangıç Uzaklığı (m)**		
	0,5 m	**1 m**	**1,5 m**
800	1,3	5,3	12
900	1,5	6	13,5
1800	3	12	27
2100	3,5	14	31,5
2600	4,3	17,3	39

2.4. Baz İstasyonu Kaynaklı Elektromanyetik Alanlar (Electromagnetic Waves from Base Stations)

Son 25 yılda hücresel sistemlerin de gelişmesiyle baz istasyonu sayısındaki artış yerleşim alanları içinde elektromanyetik alan yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Günümüzde en çok endişe, baz istasyonlarının bu denli fazlalaşmasından ve yaşam alanlarında kurulu bulunmasından dolayı yaşanmaktadır. Sayılarının hızla artmasıyla baz istasyonları, kablosuz haberleşmede en çok elektromanyetik dalga oluşturan kaynaklar arasında gösterilebilir.

Elektromanyetik alan ölçümleri yakın alan ve uzak alanda farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir. Yakın alan şartları elektromanyetik alan ölçümlerinin doğruluğunda uzak alana kıyasla daha fazla bozulmaya neden olmaktadır [19].

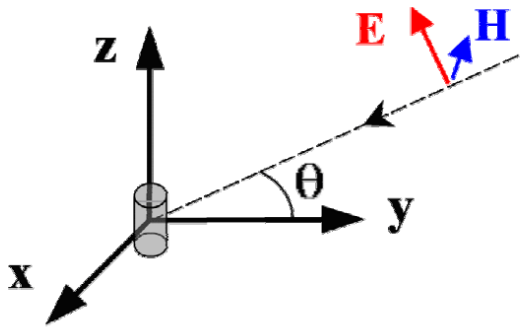
Baz istasyonu kaynaklı elektromanyetik alan ölçümlerinde ise genellikle uzak alan şartları geçerli olduğundan elektromanyetik radyasyonu oluşturan iki bileşen ayrı ayrı ölçülmektedir ve elektromanyetik ışınım (radyasyon) veya elektromanyetik kirlilik ifadeleri kullanıldığında bu bileşenlerin her ikisi birlikte kastedilmektedir. Elektrik alan şiddetinin birimi için genellikle Volt/metre (V/m) kullanılır, manyetik alan şiddetinin birimi için Amper/metre (A/m), Tesla, Gauss birimleri de kullanılır. Çok düşük frekanslarda elektrik ve manyetik alanlar birbirinden bağımsız olarak davranır ve her biri ayrı ayrı ölçülmelidir. Ancak baz istasyonu gibi yüksek frekanslarda uzak alan şartlarında elektrik ve manyetik alan birbirine bağlı ve dik olarak hareket ettiğinden ortamda ya elektrik alan değeri ya manyetik alan değeri ölçülür (genellikle elektrik alan). Diğer alan ise elektrik ve manyetik alan arasındaki bağıntı (H=E/377 A/m) yardımıyla hesaplanır [13]. Uzak alanda; elektrik ve manyetik alanın kaynaktan uzaklaştıkça mesafenin karesiyle ters orantılı olarak azalması (serbest uzay kaybı), hesaplamalarda elektrik alan şiddetinin veya coğrafi alandaki dağılımının tahmin edilmesinde kolaylık sağlamaktadır [7].

3. BAZ İSTASYONU ÖLÇÜM CİHAZLARI VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ (MEASUREMENT INSTRUMENTS AND MEASUREMENT METHODS OF BASE STATION)

Baz istasyonu ölçümlerinin yapıldığı noktalar, uzak alan şartlarını sağladığından genel halk maruziyetinin tespiti için ölçümler de uzak alana göre alınmaktadır. Baz istasyonu ölçümleri genellikle elektrik alana duyarlı problarla (antenlerle) elektrik alanın ölçülmesiyle yapılmakta ve manyetik alan değeri bu ölçüm sonucundan faydalanılarak hesaplanmaktadır [13]. Birden fazla baz istasyonu bulunan noktalarda yapılan ölçümlerde ortam limit değerlerinin yüksek çıkması durumunda her bir istasyonun etkisini ölçmek amacıyla spektrum analizörü adı verilen frekansa bağlı ölçüm kabiliyeti bulunan cihazlarla ölçüm yapılmaktadır.

3.1. Ölçüm Cihazları (Measurement Instruments)

Ölçümlerde genellikle geniş bant ölçüm cihazları veya selektif ölçüm cihazları kullanılır. Geniş bantta ölçüm yapan cihazlar, belirli bir frekans aralığındaki bütün kaynaklardan oluşan etkilerin toplamını gösterir. Örneğin 100 Kilohertz (KHz) ile 3 Gigahertz (GHz) frekanslarında ölçüm yapabilen bir cihaz ile ölçüm yapıldığında bu frekanslar arasındaki elektromanyetik alan kaynaklarının tamamının etkisi gözlemlenir ve ortamın toplam elektromanyetik alan seviyesi ölçülür. Selektif ölçüm cihazlarında ise her bir kaynağın etkisi ayrı ayrı gözlemlenebilir. Örneğin bir noktada geniş bant ölçüm yapan bir cihazla ortamın elektrik alan değeri 5 V/m bulunmuş olsun. Bu noktada selektif ölçüm kabiliyeti bulunan bir cihaz ile ölçüm yapıldığında cihazın frekans aralığı 100 KHz-3 GHz aralığında ise bu aralıktaki 5 V/m'yi oluşturan bütün frekans değerleri (yani elektromanyetik alan kaynakları) selektif ölçüm cihazında görüntülenecektir.



Şekil 3. İzotropik antenin temsili iç yapısı
(Displaying the internal structure of isotropic antenna)

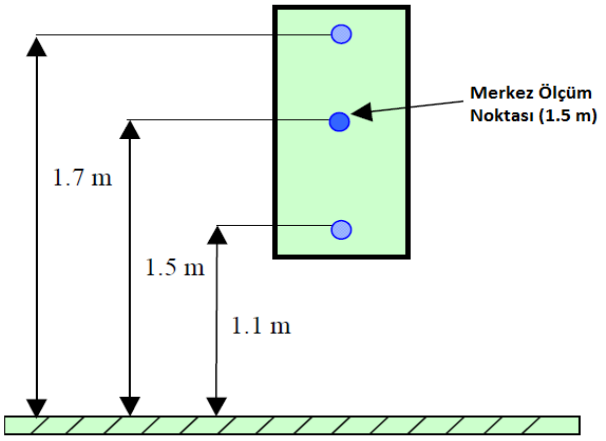
Ölçüm cihazları ile ilgili diğer önemli bir husus da ölçülecek elektromanyetik alana uygun anten (prob) kullanılması gerektiğidir. Manyetik alan ölçümü için manyetik alan probu, elektrik alan ölçümü için ise elektrik alan probları kullanılır. Problar, bir de her yönden gelen (x-y-z eksenlerince) alanı ölçebilmeleri veya ölçememeleri şeklinde izotropik olup olmamalarına göre de sınıflandırılmaktadır. Eğer bir prob izotropik değilse, bu durumda ölçüm x-y-z eksenlerinde ayrı ayrı yapılmaktadır. Ölçüm cihazlarında genellikle izotropik problar kullanılmaktadır. İzotropik prob, x-y-z eksenlerinde birbirine dik olarak yerleştirilmiş ve polarizasyondan bağımsız olarak ortamdaki elektrik veya manyetik alan şiddetini algılayan detektör diyotlardan oluşur. Şekil 3'te iç yapısı gösterilen üç eksenli bir izotropik prob ile herhangi bir pozisyonda her yönden gelen elektrik veya manyetik alan toplam şiddet değeri ölçülebilmektedir. Bu durum ölçümlerde pratiklik sağlamaktadır. Çünkü eğer ölçümlerde izotropik antenler kullanılmazsa, ölçümler x-y-z yönleri için ayrı ayrı yapılmakta ve bu ölçümlerin bileşke değeri hesaplanmaktadır. Bileşke değer formülü elektrik ve manyetik alanlar için Eş. 2 ve Eş. 3 ile gösterilmektedir. İzotropik antenlerle alınan ölçümlerde elektrik ve manyetik alan şiddeti her yönden gelen değerlerin bileşkesidir [1,20].

$$|E| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (2)$$

$$|H| = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \quad (3)$$

3.2. Ölçüm Yöntemleri (Measurement Methods)

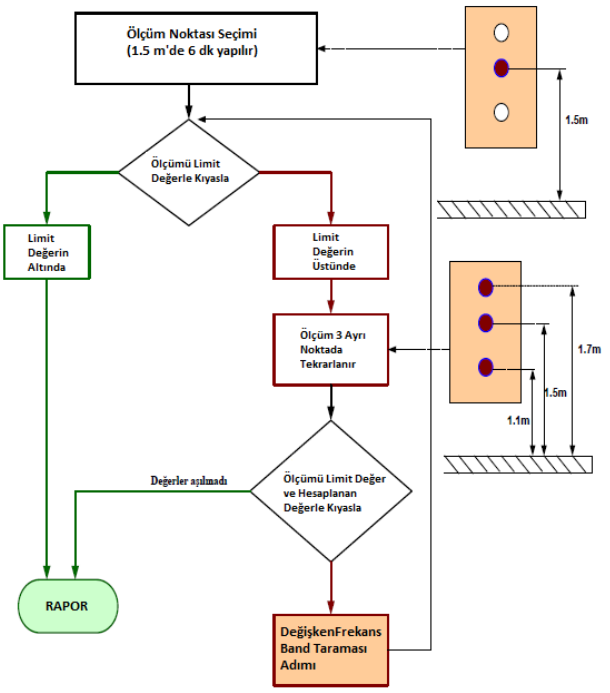
İyonize etmeyen ve radyofrekans bölgesinde yayın yapan cihazlardan kaynaklanan elektromanyetik alan şiddetinin ölçümü hususunda ulusal ve uluslararası olmak üzere çeşitli düzenlemeler bulunmaktadır. IEEE C95.3 standardı ile ECC/REC/(02)04 kodlu Avrupa Posta ve Haberleşme İdaresi (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications - CEPT) tavsiyesi uluslararası düzenlemelere örnek olarak gösterilebilir [21]. Türkiye'de ise BTK tarafından yayımlanan "Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik" ile ölçüm süreçleri tarif edilmektedir [2].



Şekil 4. ECC/REC/(02)04 tavsiyesinde ölçüm noktaları
(The survey points according to ECC/REC/(02)04 recommendation)

ECC/REC/(02)04 tavsiyesinde ölçüm için üç yaklaşım benimsenmiştir. Bunlar; Hızlı durum belirlemesi, Değişken frekansla bant taraması ve Detaylı inceleme şeklindedir. Hızlı durum belirlemesi ve Değişken frekansla bant taraması, uzak alan ölçümlerinde gerçekleştirilirken Detaylı incelemede ise yakın alan ölçümleri de gerçekleştirilmekte ve kullanılan cihaz ve probların kapsamı artmaktadır. Hızlı durum belirlemesine ilişkin akış şeması Şekil 5'te gösterilmektedir [22]. Bu yaklaşımda ölçümler Şekil 4'te görüldüğü gibi zeminden 1.5 m yükseklikten gerçekleştirilmeli, eğer bu ölçümde değer limit değerlerin üzerindeyse 1.1 m ve 1.7 m yüksekliklerden iki ölçüm daha gerçekleştirilmelidir.

Ölçümlerin ortalamaları ise elektrik alan için Eş. 4 ve manyetik alan için Eş. 5 ile hesaplanır.



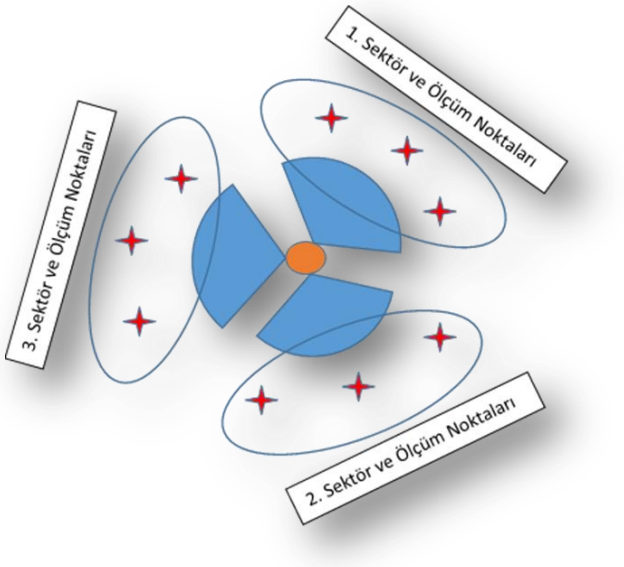
Şekil 5. ECC/REC/(02)04 tavsiyesinde "Hızlı Durum Belirlemesi"
("Quick Overview" in the ECC/REC/(02)04 recommendation)

$$E_{Konumsal_Ortalama} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{3} E_i^2}{3}} \quad (4)$$

$$H_{Konumsal_Ortalama} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{3} H_i^2}{3}} \quad (5)$$

Türkiye'de yönetmelikle belirlenen ölçümlerde esas alınan süre aslında ICNIRP (Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu) tarafından belirlenen ve bir kaynaktan yayılan elektromanyetik alanın ortalama değerinin bulunduğu minimum süredir. Bu süreye göre yasal olarak yapılan veya bilimsel olarak yapılan her bir ölçüm, minimum 6 dakika süreyle gerçekleştirilmelidir.

Bunlara ek olarak ise Şekil 6'da görüldüğü üzere "ölçümlerin antenin yayın yaptığı yönden başlayarak sağından ve solundan olmak üzere en az 3 değişik noktadan ölçüm alınması gerektiği, baz istasyonları için her ölçümün en az 6 dakika sürmesi gerektiği ve yayına doğrudan maruz kalan bölgelerin ölçüm noktası olarak seçilmesi gerektiği" ifade edilmiştir.

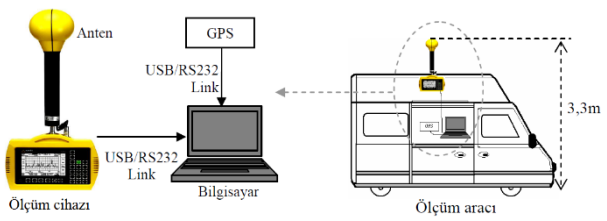


Şekil 6. Türkiye'de mevzuata göre baz istasyonu sektör yönleri ve ölçüm noktalarının temsili olarak gösterimi
(Representation of base station sector directions and measurement points according to the legislation in Turkey)

3.3. Elektromanyetik Alan Kirlilik Haritaları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) (Electromagnetic Field Pollution Maps and Geographic Information Systems (GIS))

Ortamda elektromanyetik alanın ne seviyede olduğunu ölçmek, bu seviyeyi harita üzerinde göstermek ve konumsal olarak kıyaslamak amacıyla elektromanyetik alan kirlilik haritaları oluşturulmaktadır. Bu haritaların oluşturulmasında CBS'den faydalanılır. CBS'ler konum verileri ile konuma bağlı ilgili değerleri sayısal olarak analiz edebilen ve bunu ilgili harita üzerinde gösterebilen programlardır.

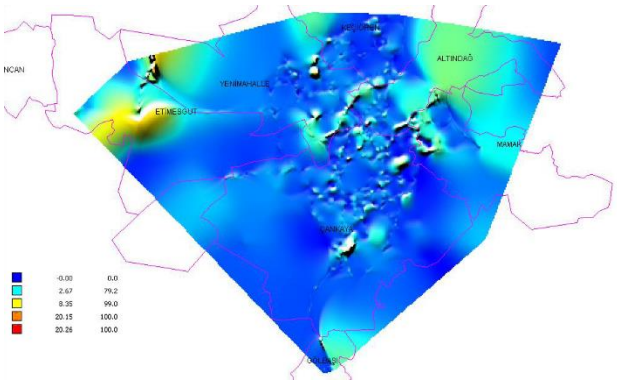
Elektromanyetik alan kirlilik haritalarının oluşturulmasında, ölçüm verileri ile ölçümlerin gerçekleştirildiği konum verileri (koordinat bilgisi) kullanılmaktadır. Böylelikle elektromanyetik alan kirlilik seviyesi limit değerlere oranla konuma bağlı olarak kıyaslanabilmekte ve bu kirliliğin hangi bölgelerde ne seviyede olduğu harita üzerinden görülebilmektedir. Ayrıca haritalama ile önlem alınması gereken noktalar da belirlenebilir.



Şekil 7.Elektromanyetik kirlilik haritası oluşturmada kullanılan tipik bir ölçüm düzeneği

(A typical measurement method used to create an electromagnetic pollution map)

Şekil 7'de elektromanyetik kirlilik haritası oluşturma işlemlerinde kullanılan genel bir düzenek görülmektedir [7]. Şekil 8'de ise Şekil 7'de kullanılan ölçüm düzeneği ile elde edilen verilerin birlikte kullanılarak bir CBS programı marifetiyle elektromanyetik kirlilik haritası elde edilmiş hali görülmektedir [7].

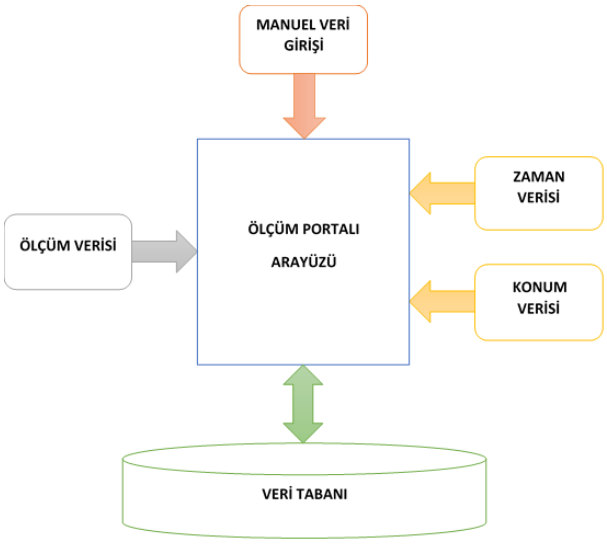


Şekil 8. Ölçüm ve konum verilerinin CBS ile kullanılarak elektromanyetik kirlilik haritası oluşturulması
(Establishment of electromagnetic pollution map using measurement and position data with GIS)

4. ÖLÇÜM PORTALI UYGULAMASI (THE MEASUREMENT PORTAL APPLICATION)

4.1. Sistemin Tanıtılması (Introducing the System)

Bu çalışmada geliştirilen model ile ölçüm, zaman ve konum verilerinin tek bir cihaz aracılığıyla elde edilip kaydedilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 9. Ölçüm Portalı uygulaması için sistem tasarımı
(The system design of the Measurement Portal)

Sistemde ölçüm verisi, ölçüm cihazından ölçüm süresince alınacak ve ortalama değer olarak kaydedilecektir. Zaman ve konum verisi android telefonun sisteminden temin edilecektir. Bu veriler manuel olarak girilemeyecek veya sonradan herhangi bir müdahale ile değiştirilemeyecektir. Manuel veri girişinin bulunduğu bölümde ise ölçüm yapılan sahanın ismi, hangi sektörün ölçüldüğü ve kaçıncı ölçüm olduğu gibi veriler manuel olarak girilebilecektir. Yapılan her ölçümün 6 dakika sürmesi sağlanacak ve sonuç veritabanı bölümüne kaydedilecektir. Ölçüm Portalı adlı arayüz uygulamasının sistem tasarımı Şekil 9'da verilmiştir.

Geliştirilen model ile hem elektromanyetik alan haritalama işlemlerinde gerekli olan ölçüm ve konum verilerinin tek bir arayüz ile elde edilmesi hem de denetim amaçlı yapılan ölçümlerin yönetmelikte belirtildiği şekliyle yapılaması, kaydedilmesi ve görüntülenmesi amaçlanmıştır. Yönetmeliğe göre; hücresel baz istasyonları için her ölçüm uluslararası standart dikkate alınarak, 6 dakikalık ortalamaya göre yapılır ve ölçümler antenin yayın paterni dikkate alınarak, yayına doğrudan maruz kalan bölgede en az 3 noktadan yapılır. Bu ifadelere göre her baz istasyonu için en az 3 adet ölçüm gerçekleştirilmeli ve her bir ölçüm en az 6 dakika sürmelidir. Gerçekleştirilen Ölçüm Portalı uygulaması ile ölçüm yapan personelin bu hususlara uyması otomatik olarak sağlanmıştır. Dolayısıyla ölçüm süresi, zaman ve konum hususlarında inkâr edilemezlik sağlanmaktadır.



Şekil 10. Ölçüm Portalı uygulaması ekran görüntüsü
(The screenshot of the Measurement Portal application)

Ölçüm Portalı'nın oluşmasında üç önemli yapı bulunmaktadır. Bunlar;

- Ölçümün yapıldığı noktanın koordinat bilgisi,
- Ölçümün yapıldığı zaman ve her bir ölçümün süresi,
- Ölçüm verilerinin ölçüm sırasında cihazdan sisteme senkronize olarak alınabilmesidir.

Ölçüm Portalı, konum hizmetlerinin kolay kullanılabilmesinden ötürü Android işletim sistemli akıllı telefonlar için geliştirilmiştir. Ölçüm Portalı sistemin özellikleri şu şekildedir;

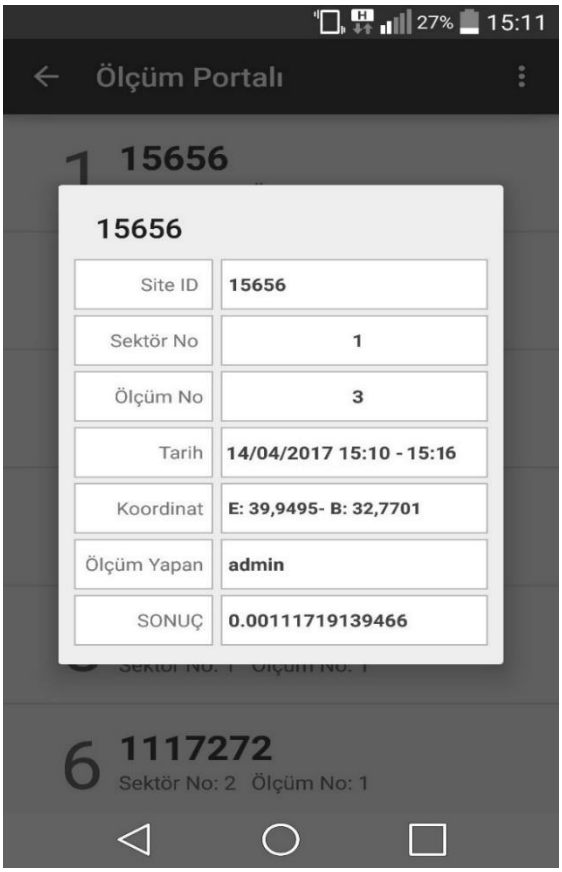
Sisteme sadece yetkili kişilerin giriş yapabilmesi amacıyla ilk defa kaydolacakların, yönetici tarafından verilen bir anahtar ile kaydolmaları sağlanmıştır. Dolayısıyla sadece yöneticinin anahtar verdiği kullanıcılar sisteme kaydolabilmektedir. Şekil 10'da Ölçüm Portalı sistemine başarılı giriş yapıldıktan sonra karşılaşılan ekran arayüzü görülmektedir.

Sisteme giriş yapıldığında ölçüm yapacak kişi Şekil 10'da verildiği gibi "Site ID, Sektör No, Ölçüm No, Tarih, Koordinat, Ölçümü Yapan ve Sonuç" bölümlerini görmektedir. Bu bölümler şu anlama gelmektedir;

- Site ID: Ölçümü yapılan baz istasyonunu simgeleyen tekil isim
- Sektör No: Ölçümü yapılan baz istasyonunun her bir yöne bakan antenlerinin numarası
- Ölçüm No: Her bir sektörden alınan ölçümlerin numarası (yönetmeliğe göre en az 3 ölçüm)
- Tarih: Ölçümün alındığı tarihi ve saati ile ölçümün alındığı dakika aralıkları (dakika aralığı en az 6 dakika olacak şekilde)
- Koordinat: Ölçümü yapan kişinin bulunduğu nokta, konum bilgisi
- Ölçümü Yapan: Sisteme giriş yapan ve ölçümü yapan kişi
- Sonuç: Ölçü aletinden saniyelik olarak alınan verinin ölçüm süresince ortalaması

Sisteme kayıt olduktan sonra giriş yapılacak, ölçüme başlanmadan önce telefonun konum servisleri açılacaktır. Konum servisleri açık olmayan telefonlarda sistem koordinat bölümünde "GPS'e erişilemedi" uyarısı vermektedir. Ölçüme başlanmadan önce ölçüme başla tuşuna basıldığında gerekli alanların doldurulması istenecektir. Gerekli alanlar doldurulduktan sonra ölçüme başlandığında 6 dakika boyunca herhangi bir müdahale yapılamamaktadır. Herhangi bir sorunda ise ölçüm başarısız olmakta ve kaydedilememektedir.

Ölçüm bittiğinde ölçüm kaydetme veya temizleyip yeni ölçüme başlama seçenekleri bulunmaktadır. Ölçüm yapan kişi sadece kendi yaptığı ölçümleri görüntüleyebilecektir. Yönetici yetkisi olan kişiler ise bütün ölçüm yapan kişilerin ölçüm kayıtlarını görüntüleyebileceklerdir. Şekil 11'de Ölçüm Portalı ile yapılmış ve kaydedilmiş bir ölçümün ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil 11. Kayıtlı ölçümlerin görüntülenmesi
(Displaying the saved measurements)

4.2. Kullanılan Ekipmanlar (the Equipments Used)

Bu sistemde genişband ölçüm cihazları kullanılması amaçlanmıştır. Çünkü genellikle ölçümler uzak alan şartlarında ve genişband cihazlarla yapılmaktadır. Dolayısıyla Narda firmasının genişband cihazlarından NBM-550 cihazı kullanılmıştır. NBM-550 cihazı, veri aktarımının geliştirildiği ve kolaylaştırıldığı bir ölçüm cihazıdır. Cihazdan veri alınması için öncelikle bu cihazın ayrıntılı olarak tanınması gerekmektedir. Çünkü her cihazın veri bağlantısı için konfigürasyonları, veri gönderme ve alma için komutları farklıdır (cihaz komutları, üretici firmanın ürün paketi içinde gelmektedir ve bu komutlara üreticinin web sayfasında cihazla ilgili bölümlerinden ulaşılabilmektedir).

NBM serisi cihazlar için konfigürasyonlar şu şekildedir;

- Baud rate: 115200
- 1 start bit,
- 8 data biti,
- 1 stop bit,
- Parity biti: Yok
- Flow kontrol (handshaking): Yok

Bu konfigürasyonlar Ölçüm Portalı uygulamasında varsayılan (default) olarak yapılmış olup genel seri port okuma ve yazma uygulamalarında cihazda kullanılan mikroişlemciye göre değişen ayarlardır. Gerekli konfigürasyonlar yapıldıktan sonra ölçüm cihazının telefona bağlanması için ara ekipmanlar gerekmektedir. USB tipli optik-elektrik dönüştürücü ile USB-OTG kablosu kullanılarak NBM-550 ölçüm cihazı telefona bağlanabilmektedir. Şekil 12'de NBM-550 cihazının telefona bağlantısı görülmektedir.



Şekil 12. Ölçüm cihazının telefon bağlanması
(Connecting the measurement device to the phone)

4.3. Ölçüm Portalı ile Ölçüm Verilerinin Elde Edilmesi (Obtaining Measurement Data with Measurement Portal)

NBM-550 cihazı telefona bağlandıktan sonra sistemde ilgili alanlar doldurularak ölçümler gerçekleştirilebilmektedir. Kaydedilen ölçümler, sistemde veri tabanına kaydedilebilmekte ve istenildiğinde toplu bir şekilde tablo formatında bir excel dosyasına çıktı olarak alınabilmektedir. Tablo 2'de, örnek veriler ile bir baz istasyonu için yapılan ölçümlerin kaydedilip excel formatında çıkartılmış hali görülmektedir. Tablo incelendiğinde, örnek olarak verilen 3 sektörlü ve A isimli bir baz istasyonu için yönetmelikte belirtildiği gibi her sektör için 3 ölçüm, 6 dakika boyunca gerçekleştirilmiş ve bu veriler ölçümlerin yapıldığı konumun koordinat verisi, ölçüm zamanı, süresi ve ölçüm verisi ile birlikte tek bir arayüz ile elde edilerek kaydedilmiştir. Ayrıca Ölçüm Portalı ile elde edilen veriler aynı zamanda elektromanyetik alan kirlilik haritası oluşturma işlemlerinde de gerekli olan veriler olduğu için, bu sistem elektromanyetik alan haritalama çalışmalarında da kullanılabilecektir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (RESULT AND SUGGESTIONS)

Bu çalışma ile, elektromanyetik alan ölçümlerinin yönetmelikte belirlendiği şekilde gerçekleştirilmesine ve elektromanyetik alan kirlilik haritalarının oluşturulmasında yönelik kullanılan verilerin tek bir arayüz ile elde edilmesi ve ölçüm ve denetimlerin ulusal ve uluslararası standartlara uygun şekilde yapılması sağlanmıştır. Geliştirilen uygulama ile bir Ölçüm Portalı sistemi geliştirilerek, sektörde ve akademik çalışmalarda kullanılabilirliği sağlanması amaçlanmıştır. Oluşturulan android tabanlı yazılım ve cep telefonu kontrollü ölçüm sistemi sayesinde, elektromanyetik alan kirlilik haritası işlemlerinde kullanılan ölçüm sisteminin maliyeti düşürülmüş, verilerin gerçek zamanlı ölçülmesi ve değerlendirilmesi işlemi daha basit bir hale getirilmiştir. Ayrıca kullanılan cep telefonu yardımıyla konum bilgisinin ve kayıt zamanı bilgisinin otomatik olarak alınması ve kaydedilmesi sağlanmıştır.

Tablo 2. Ölçüm Portalı sisteminden elde edilen veriler
(Data obtained from the Measurement Portal system)

Sıra No	Site ID	Sektör No	Ölçüm No	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Koordinat	Ölçüm Yapan	Ölçüm Sonucu
1	A	1	1	12.04.2017 15:00	12.04.2017 15:06	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.557
2	A	1	2	12.04.2017 15:07	12.04.2017 15:13	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.670
3	A	1	3	12.04.2017 15:14	12.04.2017 15:20	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.230
4	A	2	1	12.04.2017 15:21	12.04.2017 15:27	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.341
5	A	2	2	12.04.2017 15:28	12.04.2017 15:34	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.325
6	A	2	3	12.04.2017 15:35	12.04.2017 15:41	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.462
7	A	3	1	12.04.2017 15:42	12.04.2017 15:48	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.993
8	A	3	2	12.04.2017 15:49	12.04.2017 15:55	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.123
9	A	3	3	12.04.2017 15:56	12.04.2017 16:02	E: 39,6491- B: 27,8811	admin	0.114

Tasarlanan yazılımın basit ve diğer uygulamalara kolay uyum sağlayabilir olması sistemin diğer bir avantajı olarak görülmektedir. İlerleyen aşamalarda bu sisteme etkin bir raporlama sistemi eklenmesiyle elektromanyetik alan ölçümü işlemlerinde sektörde daha fazla kullanımı sağlanabilecektir. Ölçüm Portalı sistemi, sektörde ölçüm ve denetimde kullanılan bütün ölçüm cihazları ile çalışabilir hale getirilmesi kullanımının artmasında ve etkin bir denetim yapılabilmesinde faydalı olacaktır. Ayrıca bu sistemin elektromanyetik alan kirlilik haritalarının hazırlanması ile ilgili yapılacak akademik çalışmalarda kullanılması, büyük kolaylık sağlayacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Ö. Genç, **Radyo Frekanslarında Elektromanyetik Kirliliğe GSM Bandlarının Etkisinin Analizi**, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.

[2] İnternet: BTK, Elektronik Haberleşme Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddetinin Uluslararası Standartlara Göre Maruziyet Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Kontrolü ve Denetimi Hakkında Yönetmelik, **http://www.mevzuat.gov.tr**, 16.05.2017.

[3] M. Bertocco, M. Farias, C. Offelli ve A. Sona, "A Measurement System for the Evoluation of Environmental", **Instrumentation and Measurement Technology Conference**, Anchorage, AK, USA, 1277-1281, 21-23 Mayıs 2002.

[4] H. Saitoh, "GPS Synchronized Measurement Applications in Japan", **Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002**, Yokohama, Japan, 494-499, 6-10 Ekim 2002.

[5] C. Giliberti, F. Boella, A. Bedini, R. Palomba ve L. Giuliani, "Electromagnetic Mapping of Urban Areas: The Example of Monselice (Italy)", **Piers Online**, 5(1), 56-60, 2009.

[6] N. Stefu, I. Solyom ve A. Arama, "Radiofrequency Electromagnetic Field Map of Timisoara", **Annals of West University of Timisoara – Physics**, 58(1), 73-80, 2015.

[7] A. R. Özdemir, **Ankara, İstanbul ve İzmir Şehirlerinde Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Hazırlanması ve Elektromanyetik Kirliliğin Azaltılması Yönünde Öneriler**, Uzmanlık Tezi, Telekomünikasyon Kurumu, 2004.

[8] T. İnce, **Elektromanyetik Kirlilik**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

[9] O. Uygunol, **Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla GSM Baz İstasyonlarında Elektromanyetik Alan Kirliliğinin Tespiti ve Konya Örneği**, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.

[10] M. Cansız, **Diyarbakır İl Merkezinin Elektromanyetik Alan Haritasının Çıkarılması ve Durum Değerlendirilmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.

[11] A. Ö. Polat, **Karaman İli Şehir Merkezi ve Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Yunus Emre Yerleşkesi'nin Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Çıkarılması**, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

[12] A. Keysan, **Balıkesir ili şehir merkezi ve Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesi' nin elektromanyetik alan haritası**, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.

[13] O. Çerezci, "Elektromanyetik Kirlilik", **Elektromanyetik Alan ve Sağlık Etkileri**, Cilt 1, Editör: Türkkan A., F. Özsan Matbaacilik San. Tic. Ltd. Şti., Bursa, 11-26, 2012.

[14] S. Şeker ve O. Çerezci, **Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları**, Bogaziçi Üniversitesi Yayınları, 548, İstanbul, 2003.

[15] A. Bibi, **Kablosuz Haberleşme Sistemlerinde Anten Tesislerinin Çevre Duyarlılığı Açısından İncelenmesi; Oluşturduğu Etkiler ve Alınabilecek Tedbirler, Dünya Uygulamaları ve Türkiye İçin Çözüm Önerileri**, Teknik Uzmanlık Tezi, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, 2015.

[16] H. J. Visser, **Array and Phased Array Antenna Basics**, John Wiley & Sons Ltd., New York, A.B.D., 2005.

[17] C. A. Balanis, **Antenna Theory Analysis and Design**, John Wiley & Sons, New York, A.B.D., 1997.

[18] L. S. Warren ve A. T. Gary, **Antenna Theory and Design**, John Wiley & Sons, New York, A.B.D., 1998.

[19] H. Trzaska, **Electromagnetic Field Measurements in the Near Field**, Noble Publishing, Atlanta, A.B.D., 2001.

[20] G. Solari ve G. Viciguerra, "Frequency Selective Measurements of Electric Field (100 kHz - 2.5GHz) and Magnetic Field (100 kHz -120 MHz) with Active Electro-Optical Receiving Antennas", **The 16th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility EMC**, Zurich, Switzerland, 14-18 Şubat 2005.

[21] İnternet: ECC Recommendations, *Measuring Non-Ionising Electromagnetic Radiation (9 kHz – 300 GHz)*, Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), **http://www.erodocdb.dk**, 16.05.2017.

[22] F. Çerezci, **K-Means Algoritması ile Elektromanyetik Kirlilik Analizi**, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.