

Yeşil Hücresel Ağlarda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı

Authors Blinded

Blinded

[Blinded](#)

Özet: Küresel ısınma ve artan enerji maliyetleri, her alanda olduğu gibi bilişim teknolojileri alanında da enerji tüketimi fazlalığını bir sorun olarak karşımıza çıkarmaktadır. Bu bildiride, bilişim teknolojilerinin bir alt dalı olan hücresel ağlarda, enerji tüketimi probleminin yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması yöntemiyle çözülmesi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla kullanılabilen donanımsal tasarımlar anlatılmış, şehir ve kırsal alanlardaki problemler ve bu alanlar için öne sürülen çözümler açıklanmıştır. Son olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının ekonomik boyutu üzerinde durulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Yeşil Hücresel Ağlar, Yenilenebilir Enerji.

Using Renewable Energy Sources in Green Cellular Networks

Abstract: Global warming and rising energy costs increases the awareness of energy consumption for information technologies just like other technologies. In this paper, we explain the solutions using renewable energy sources in cellular networks to reduce the energy expenditure, hence the impact on the global warming. First, we present the hardware designs which integrate renewable energy sources with classical base stations. Then we explain the energy problems in urban and rural area and the solutions that are specific for these areas. Finally, we briefly summarize the economic issues of using renewable energy sources in the cellular networks.

Keywords: Green Cellular Networks, Renewable Energy.

1. Giriş

Küresel ısınmanın yadsınamaz bir gerçek olduğu son yıllardaki iklim değişikliklerinden rahatlıkla anlaşılabilir [1]. Ayrıca bu ısınmanın insan kaynaklı olduğuna dair oldukça önemli kanıtlar bulunmaktadır [2]. Dolayısıyla kamuoyunun ve müktedir kurumların küresel ısınmayla mücadele etme isteği, küresel ısınmayla ilgili sorunlar artmaya başladıkça katlanarak artmaktadır. Bilişim teknolojilerinin bir alt dalı olarak hücresel ağ teknolojileri de bu ilgiye sessiz kalmamaktadır. Öte yandan, küresel ısınmayla mücadeleyi sağlayacak yeni çözümleri hayata geçirecek yegane

kurumlar, kar amaçlı kuruluşlar olan mobil operatörlerdir. Dolayısıyla çözümlerin ayrıca ekonomik olarak da uygulanabilir olması gerekmektedir. Böylece mobil operatörler, küresel ısınmayla mücadelede toplumsal sorumluluğun yanında, ekonomik anlamda da fayda sağlayabileceklerdir.

Operasyonel enerji maliyetlerinin gittikçe artıyor olması, daha az enerji tüketen tasarımların mobil operatörler tarafından ilgi görmeye başlamasını sağlamıştır. Öte yandan fosil bazlı kaynakların geleceği parlak olmamakta [3], ekonomik fayda yönünden de yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim tüm sektörlerde

artmaktadır. Dolayısıyla hücresele ağ teknolojilerinde de, klasik enerji verimli çözümlerin yanında, yenilenebilir enerji kullanımı çözümlerinin de uygulanabilirliği incelenmelidir. Bu bildiride hücresele ağlarda enerji tüketiminin en yüksek olduğu kısım olan [4] baz istasyonlarında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı problemleri ve çözüm önerileri sunulmuştur.

2 Donanımsal Tasarım Örnekleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarının hücresele ağlarda kullanımına yönelik çözümlerde öncelikle yapmamız gereken, güneş paneli, rüzgar türbini ve biyoyakıt gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını klasik baz istasyonlarıyla entegre etmektir. Mevcut uygulamalara baktığımızda özellikle kırsal kesim gibi enerji hattı olmayan yerler için, yenilenebilir enerji kullanan çeşitli baz istasyonu tasarımları ortaya konmuştur. Bunun başlıca sebebi bu baz istasyonları için enerji kaynağı olarak mazot kullanılıyor olmasıdır. Mazot kullanımı hem karbon emisyon oranının ciddi artmasına hem de beşinci bölümde detaylı anlatılacağı üzere ekonomik sorunlara yol açmaktadır. Bu yüzden, GSM ortaklığı (GSMA) 2008 yılında, dünya genelinde 800 mobil operatörünü bir araya getirerek yenilenebilir enerji kaynaklı baz istasyonu kurulumunu artırıcı bir plan ortaya koyarak, mazot kullanımını 2,5 milyar litre azaltmayı hedeflemiştir. Ayrıca 2000 yılından beri başta Ericsson ve Alcatel olmak üzere baz istasyonu üreten firmaların güneş panelli yüksek kapsama alanına sahip baz istasyonları tasarladığı bilinmektedir [5].

Öte yandan yenilenebilir enerji kaynakları, şebeke ağı gibi sabit, kararlı bir enerji akışı sağlama yeteneğine sahip olamamaktadırlar. Örneğin güneş panelleri gündüz yüksek oranda enerji sağlarken gece bu değer sıfıra kadar düşmektedir. Bu

tür kısa zaman aralıklı değişimleri mevcut batarya teknolojileri ile dengelenebilmektedir. Fakat yaz ve kış ayrımı gibi uzun zamanlı değişimleri dengelemek için farklı çözümler gerekmektedir. Bu amaçla Esser elektrolizörlerin, kendi tasarladığı P21 adlı yenilenebilir enerji kaynaklı baz istasyonu ile kullanımı üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir [6]. Bu sistemde klasik batarya yine kısa süreli enerji kaynağı ihtiyacını sağlamakta, elektrolizör ise hidrojeni sudan ayırarak, kış dönemi gibi ciddi enerji açığı olacak zamanlar için enerji depolama görevi görmektedir. Yeh ise farklı yenilenebilir enerji kaynaklarını (güneş, rüzgar vs.) bir arada kullanarak kararlılığın arttırabileceği bir çözüm önermiştir [7].

Özetlemek gerekirse baz istasyonu üreticileri yenilenebilir enerji kaynaklı sistemler oluşturmaya başlamışlardır. Fakat mevcut hücresele ağların ihtiyaç duyduğu enerjiyi sağlamak için ya hibrit çözümler (ikincil enerji kaynağı olarak şebeke ağının veya mazotun kullanılması) ya da oldukça büyük güneş paneli, elektrolizör gibi ekonomik olmayan çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla donanımsal çözümler tek başına yenilenebilir enerjilerin hücresele ağlarda kullanımının yaygınlaşmasını sağlamakta yetersiz kalmaktadırlar.

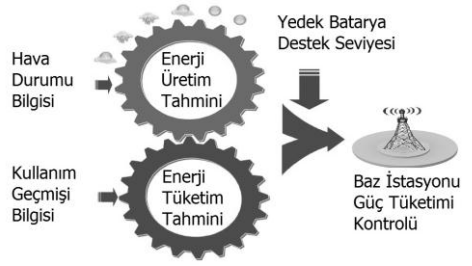
3 Şehiriçi Yenilenebilir Enerji Kullanımı

Literatür araştırmamızı yeşil hücresele ağlar üzerine yaptığımızda karşımıza en çok çıkan çözüm yönteminin baz istasyonlarının devingen kullanımı olacağı görülecektir [8]. Bu kullanım biçimi özellikle şehiriçi gibi nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu alanlar için yüksek enerji verimliliği sağlamaktadır. Bunun temel sebebi bu alanlarda baz istasyonlarının gündüz yoğun saatler için yerleştirilmesi

olması ve gece gibi hücresel ağı kullanım oranlarının çok düşük olduğu zamanlarda gereksiz olarak aktif kalmalarıdır. Bu problemi çözen klasik devingen yöntemlerin yanında yenilenebilir enerji kaynaklarını da çözüme ekleyen yöntemler son yıllarda karşımıza çıkmaktadır.

Han ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalarda, baz istasyonlarının biriktirdiği yenilenebilir enerji kaynağı miktarını da baz istasyonlarının iletim gücünün seviyesinin seçiminde bir etken olarak kullanmışlardır. Tanımladıkları problemde enerjisi azalan baz istasyonları iletim gücünü azaltmakta böylece şebeke enerjisine ihtiyacını azaltarak yaşam sürecini devam ettirebilmektedirler. Öte yandan, bu baz istasyonlarının düşük güçte çalışması bazı bölgelerin kapsama alanının dışına çıkmasına, bu bölgelerin kapsanması için diğer baz istasyonlarının gücünü arttırması gerektirmektedir. Ayrıca kullanıcı yoğunlukları da zamana göre değiştiğinden bu problem deterministik olmayan polinom zamanlı zorluk (NP-hard) seviyesinde olmaktadır. Bu yüzden bu çalışmayı sağlayacak çeşitli sezgisel algoritmalar ortaya koymuşlardır [9].

Han ve arkadaşlarının çalışmasında yenilenebilir enerji miktarının baz istasyonunda birikmesi verisi, statik veriler üzerinden gerçekleşmektedir. Valerdi ve arkadaşları ise probleme ayrıca meteoroloji verilerini de eklemişlerdir. Örneğin bir gün sonrasında hava bulutlu ise enerji açığı ortaya çıkacağından tasarladıkları sistem transmisyon gücünü düşürmektedir. Elbette ki, güneş panellerini kullanan bu sistemde komşu tüm baz istasyonların hava koşullarından benzer şekilde etkileneceği aşikardır. Dolayısıyla bu tasarım daha çok şebeke enerjisinden beslenen klasik baz istasyonlarının arasına yerleştirilen yenilenebilir enerjili baz istasyonları için daha uygun olacaktır [10].



Şekil 1. Hava Durumu ve Geçmiş Tüketim Verilerinin Kullanılması [10]

Zheng ve arkadaşları ise problemin başlangıç noktasına eğilmiş, baz istasyonlarının inşaa edileceği noktaların da yenilenebilir enerji özelliğinin katılarak seçilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında baz istasyonlarının aralarında, ürettikleri enerjileri dağıtabilecekleri enerji hatları kurulabilmektedir. Problemlerinde bu enerji hatlarının maliyetini de hesaba katan oldukça kapsamlı bir sezgisel algoritma ortaya koyarak, kurulacak yeni baz istasyonlarının yer seçimini belirlemişler ve klasik baz istasyonları ile maliyet karşılaştırması yapmışlardır [11].

Daha önceden de belirtildiği üzere hücresel ağların kullanım miktarı günün belirli saatlerinde düşmekte, belirli saatlerinde ise artmaktadır. Fakat Paul ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışma baz istasyonlarının kendi aralarında kullanım miktarına göre bir korelasyon olmadığını ortaya çıkarmıştır [12]. Örnek vermek gerekirse tüm sistemin kullanım oranı gündüz saatlerinde belirli oranda artsa da baz istasyonlarının en yoğun kullandıkları saatler farklı zamanlar olmaktadır. Dolayısıyla birbirine komşu olan baz istasyonların, kullanım yoğunlukları farklılıklarına göre dönüşümlü çalıştırılmasını gerçekleştirebiliriz.

Paul ve arkadaşlarının tespitlerinde olduğu gibi, baz istasyonlarının farklı zaman dilimlerinde yoğun olmasından faydalanan bir tasarım, Zheng ve arkadaşlarının çalışması ile paralel zamanda gerçekleştirilmiştir [13]. Bu çalışmada baz istasyonları dönüşümlü olarak çalıştırılmakta, böylece çalışmadıkları zaman dilimlerinde uyku konumunda olup, ihtiyaç duydukları enerjinin yenilenebilir kaynaklardan yeterince temin edilebilmesi sağlanabilmektedir. Problemin deterministik olmayan polinom zamanlı zorluk (NP-hard) seviyesinde olmasından dolayı, üç aşamalı bir sezgisel algoritma gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada baz istasyonlarının konumları, zaman aralıklarına özgü seçilmekte (örneğin 08:00-12:00 ve 12:00-16:00 için farklı yerleştirme örüntüleri), ikinci aşamada bu yerleşimler birleştirilmekte, üçüncü aşamada ise kütle merkezi algoritması ile baz istasyonu sayısı optimize edilmektedir. Çıkan sonuçlardan bu algoritmanın yenilenebilir enerji kullanımı ile şebeke gerilimine ihtiyacı oldukça düşürdüğü görülmüştür.

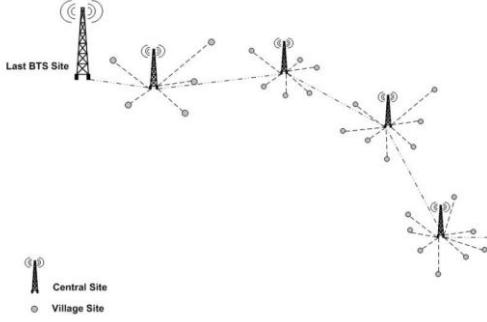
4 Kırsal Bölgeye Yönelik Çözümler

Mobil operatörler için, şehiriçi gibi kullanıcı yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde öncelikli hizmet veri miktarı kapasitesini artırmak olurken, kırsal kesim gibi nüfusun oldukça dağınık olduğu bölgelerde kapsama alanının genişletilmesi öncelikli olmaktadır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan yöntem yüksek transmisyon güçlü, kapsama alanı geniş baz istasyonlarının inşaa edilmesidir. Fakat bu baz istasyonları, yüksek güç tüketimlerinden dolayı şebeke gerilimine ya da yüksek miktarda mazota bağımlı olmaları gerekmektedir. Ayrıca geniş kapsama alanı için yüksek bir noktaya kurulmaları bu da kırsal bölgelerde ek kule maliyetlerine yol açmaktadır. Bu problemlerden ötürü çok hiplamalı

mimarileri klasik hücrese ağ mimarisi ile tümleştiren tasarımlar ortaya konmaya başlamıştır [14].

Yenilenebilir enerji kullanımı açısından probleme yaklaşacak olursak, çoklu hiplamalı yapıların en önemli özelliği ara hiplama işlemini gerçekleştiren istasyonların haberleşmek için doğrudan merkeze bağlantı ihtiyacı duymamalarıdır. Böylece röle tabir edilen bu ara aktarma istasyonlarını yenilenebilir enerji ile besleyerek şebeke ağı gibi kırsal alanlar için oldukça yüksek maliyete sahip yapıyı kurmadan kapsama alanını genişletebiliriz [15]. Bu konuda Prasad ve arkadaşları Hindistan'da bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılarındaki en önemli yeni kavram köy istasyonu dedikleri yenilenebilir enerji ile çalışan düşük güç tüketimli istasyonlar olmaktadır (Şekil 2). Bu istasyonlar kendi aralarında çoklu hiplama ile merkez baz istasyonuna ulaşabilmektedirler [16].

Tabii bu yeni tasarımlarda bu yeni baz istasyonlarının haberleşmesi için seçilecek band aralığı oldukça önem teşkil etmektedir. Operatörün lisanslı olduğu alanın kullanılması frekans planını zorlaştırmakta, lisanssız bandın kullanılması ise CSMA gibi çekişme tabanlı uçtan uca gecikmenin yüksek olduğu MAC tasarımlarına ihtiyaç duyurmaktadır. Ayrıca çok hiplamalı yönlendirme algoritmaları geçtiğimiz yıllarda, ad hoc ve duyurga ağıları için detaylı incelenmiş olsa da bu alanlardaki esas üzerinde durulan konu bir merkeze ihtiyacın duyulmadığı bir haberleşme mimarisinin oluşturulmasıydı. Yeni problemde ise yönlendirme algoritmalarının üzerinde durması gerektiği esas problem kapsama alanının en düşük maliyetle sağlanmasıdır. Ayrıca yenilenebilir enerjili baz istasyonlarının kullanılması söz konusu olduğunda yönlendirme algoritmalarında bu baz



Şekil 2. Çok Hoplamalı Mimari [16]

istasyonlarının mevcut enerji miktarlarının da hesaba katılması gerekmektedir. Tüm bunlar bu alandaki yeni araştırma konuları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bir baz istasyonu maliyetini kurulum aşaması maliyetleri ve operasyonu için gereken maliyetler olarak ikiye ayırabiliriz [17]. Baz istasyonunun imal edilmesi gibi giderler on yıl önce ön planda iken, enerji maliyetleri gibi operasyonel maliyetler gün geçtikçe kendini göstermektedir. Bu da baz istasyonlarında enerji maliyetini düşüren çözümlerin operatörler tarafından değerlendirilmeye başlamasını sağlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının güneş paneli, rüzgar türbini gibi ek kurulum maliyetlerine yol açacağı aşikardır. Bu maliyetlerin operasyonel maliyetleri (şebeke enerjisi tüketimi) ile karşılaştıran bir çalışma Andrae ve arkadaşları tarafından Güney Afrika için gerçekleştirilmiştir [18].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer önemli ekonomik faydası da şebeke hattı kurulum maliyetine ihtiyaç duymamasıdır. Bu da kırsal bölgelerde yenilenebilir enerjili baz istasyonlarının artmasını sağlamıştır. 2014 yılında bu yeni baz istasyonlarının %4.5 oranını ulaşacağı ön görülmektedir [19]. Ayrıca biyodizel gibi yenilenebilir kaynakların kullanılması da bölgesel ekonomi açısından oldukça faydalı olabilmektedir [20].

6. Sonuç ve Öneriler

Küresel ısınmanın yavaşlatılmasında her alanda olduğu gibi hücresel ağ teknolojileri geliştiricilerin de sorumluluğu bulunmaktadır. Bu yeni tasarımların ekonomik olarak da verimli olması gerçek hayata geçirilebilmesi için oldukça önemlidir. Ayrıca yenilenebilir enerjinin küresel ısınma ile mücadelede oldukça önemli bir silah olduğu da aşikardır. Dolayısıyla ağ teknolojilerinde yenilenebilir enerjinin kullanıldığı ekonomik çözümler sunmak gereklidir. Bu yenilikler donanımsal çözümler olacağı gibi, kullanıcı yoğunluğunun zamana ve mekana göre değişken olması, kırsal kesimin kapsama ve şebeke bağlantı eksikliği, yenilenebilir enerjinin kararlı olmaması gibi problemleri hedef alan ağ ve haberleşme mimarisi düzeyinde çözümler de olmalıdır.

7. Kaynaklar

1. J. M. Gregory, P. Huybrechts, and S. C. B. Raper, "Climatology: Threatened loss of the Greenland ice-sheet," *Nature*, vol. 428, no. 6983, p. 616, 2004.
2. R. K. Pachauri and A. Reisinger, "Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," *tech. rep.*, 2007.
3. V. Quaschnig, "Renewable energy and climate change." Wiley, 2009.
4. E. Oh, B. Krishnamachari, X. Liu, and Z. Niu, "Toward dynamic energy-efficient operation of cellular network infrastructure," *Communications Magazine*, IEEE, vol. 49, no. 6, pp. 56-61, 2011.

5. V. Mancuso and S. Alouf, "Reducing costs and pollution in cellular networks," *Communications Magazine*, IEEE, no. August, pp. 63-71, 2011.
6. T. Esser, "Fuel cells enabling renewable off-grid solutions," in *Telecommunications Energy Conference*, 2008. INTELEC 2008. IEEE 30th International, pp. 1-2, IEEE, 2008.
7. S. Yeh, "Green 4G communications: Renewable-energy-based architectures and protocols," in *Mobile Congress (GMC)*, 2010 Global, pp. 1-5, IEEE, 2010.
8. M. A. Yiğitel, O. D. Incel, and C. Ersoy, "Yeşil Hücresel Ağlara Hızlı Bir Bakış: Baz İstasyonlarının Enerji Tasarrufundaki Önemi," in *Akademik Bilisim'13*, 2013.
9. T. Han and N. Ansari, "Optimizing cell size for energy saving in cellular networks with hybrid energy supplies," in *Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2012 IEEE, pp. 5189-5193, IEEE, 2012.
10. D. Valerdi, Q. Zhu, K. Exadaktylos, S. Xia, M. Arranz, R. Liu, and D. Xu, "Intelligent energy managed service for green base stations," in *GLOBECOM Workshops (GC Workshops)*, 2010 IEEE, pp. 1453-1457, IEEE, 2010.
11. M. Zheng, P. Pawelczak, S. Staninczak, and H. Yu, "Planning of Cellular Networks Enhanced by Energy Harvesting," arXiv preprint arXiv:1304.5088, 2013.
12. U. Paul, A. P. Subramanian, M. M. Buddhikot, and S. R. Das, "Understanding traffic dynamics in cellular data networks," in *INFOCOM*, pp. 882-890, IEEE, 2011.
13. T. Pamuklu, and C. Ersoy, "Optimization of Renewable Green Base Station Deployment," in *GreenCom*, Beijing, IEEE 2013.
14. X. J. Li, B.-C. Seet, and P. H. J. Chong, "Multihop cellular networks: Technology and economics," *Computer Networks*, vol. 52, no. 9, pp. 1825-1837, 2008.
15. R. Pabst, B. H. Walke, D. C. Schultz, P. Herhold, H. Yanikomeroglu, S. Mukherjee, H. Viswanathan, M. Lott, W. Zirwas, M. Dohler, and Others, "Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband radio," *Communications magazine*, IEEE, vol. 42, no. 9, pp. 80-89, 2004.
16. R. Prasad and R. Mehrotra, "A solar powered telecom architecture for off-grid locations," in *Telecom World (ITU WT)*, 2011 Technical Symposium at ITU, pp. 205-210, IEEE, 2011.
17. K. Johansson, "Cost Effective Deployment Strategies for Heterogenous Wireless Networks.," PhD thesis, KTH, 2007.
18. A. S. G. Andrae, H. Dong, L. Shudong, M. Belfqih, and E. Gerber, "Added value of life cycle assessment to a business case analysis of a photovoltaic-wind radio base site solution in South Africa," in *Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, pp. 1-7, IEEE, 2012.
19. L.-C. Wang and S. Rangapillai, "A survey on green 5G cellular networks," in *SPCOM*, pp. 1-5, IEEE, 2012.
20. B. I. Katembo and P. S. Gray, "Africa, seeds, and biofuel," *J. Multidisciplinary Res*, vol. 1, no. 1-6, p. 22, 2007.