

# Yeşil Hücresel Ağlara Hızlı Bir Bakış: Baz İstasyonlarının Enerji Tasarrufundaki Önemi

M.Aykut Yiğitel, Özlem Durmaz İncel ve Cem Ersoy

NETLAB, Bilgisayar Ağları Araştırma Laboratuvarı, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

[aykut.yigitel.ozlem.durmaz.ersoy}@boun.edu.tr](mailto:{aykut.yigitel.ozlem.durmaz.ersoy}@boun.edu.tr)

**Özet:** Küresel ısınma insanoğlunu bekleyen en önemli çevre sorunlarından birisidir ve birçok sanayi sektöründe başta CO<sub>2</sub> olmak üzere tüm sera gazlarının atmosfere salınımı azaltılarak bu ısınma sürecinin yavaşlatılması için çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda, enerji tasarruflu yeşil çözümlerin geliştirilmesi, hem çevre dostu oldukları hem de yatırımcıların enerji maliyetlerini düşürdükleri için ciddi önem kazanmaktadır. Bilgi İletişim Teknolojisi alanında Telsiz Hücresel Ağlar (THA) en çok CO<sub>2</sub> salınımına sebep olan sektörlerden biridir. THA'ların Baz İstasyonları (Bİ) en yoğun trafik şartlarına göre tasarlanıp yerleştirildiğinden, çoğunlukla tam verimle kullanılamamaktadır. Bu nedenle; çalışmamızda THA'larda enerji tasarrufu sağlamak için Bİ tarafında neler yapılabileceği incelenmiş ve literatürdeki bu konu ile ilgili çalışmalar gözden geçirilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Yeşil Ağlar, Devingen Baz İstasyonu Planlama, Hücresel Ağlar, Yenilenebilir Enerji, Enerji Tasarrufu.

## A Quick look at the Green Cellular Networks: The Importance of the Base Stations for Energy Saving

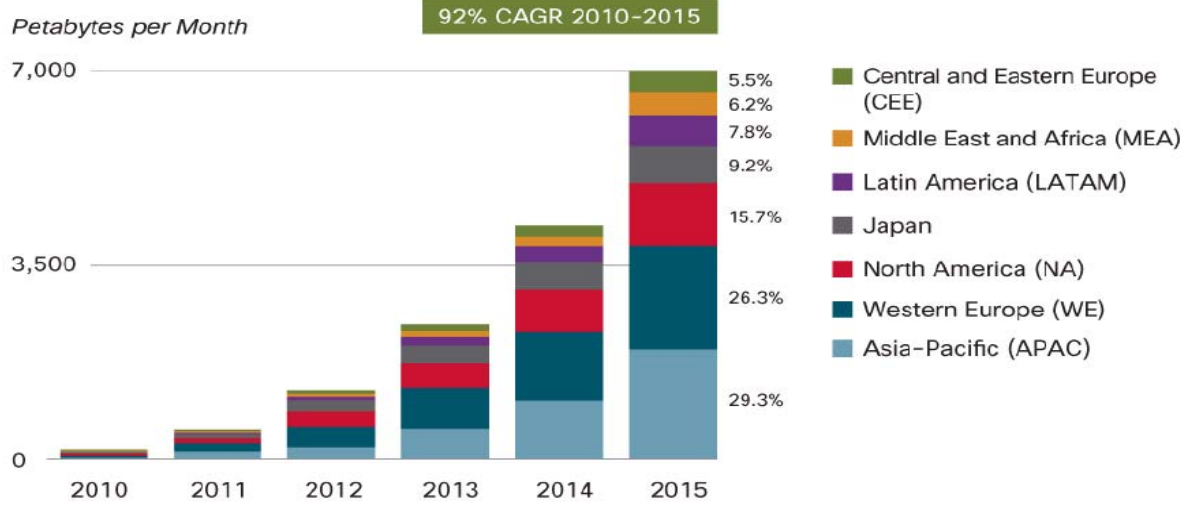
**Abstract:** Global warming is one of the most grave environmental problems awaiting humankind and extensive research efforts are continuously being invested to reduce the energy consumption in many industries, hence to slow down the warming process by decreasing greenhouse gas emissions to the atmosphere. Energy efficient green solutions gaining more importance since they are both beneficial for the environment and help to reduce the energy expenditure of the investors. Wireless cellular networks are one of the main CO<sub>2</sub> emission resources in the Information and Communications Technology. Since Base Stations (BSs) of the wireless cellular access networks are deployed to accommodate the peak-time traffic, they are underutilized most of the time. In this work, possible BS operations to reduce the energy consumption are investigated along with the current works in the literature.

**Keywords:** Green Networks, Dynamic Base Station Planning, Cellular Networks, Renewable Energy, Energy Saving.

### 1. Giriş

Dünyamızı tehdit eden en önemli çevre sorunlarından birisi şüphesiz küresel ısınmadır. Küresel ısınma bugün olmasa bile gelecekte; mevsim normallerinin değişmesi, deniz suyu seviyelerinin artması ya da aşırı hava koşullarının daha sık gözlemlenmesi gibi bir dizi yıkıcı sonuçlar doğuracaktır. Küresel ısınmayı tetikleyen temel faktörün

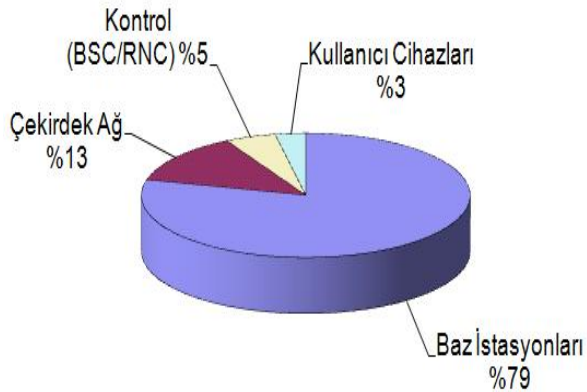
atmosfere salınan sera gazları olduğu ve bu gazların %72'sini karbondioksitin (CO<sub>2</sub>) oluşturduğu bilinmektedir. Bu nedenle, elektrikli arabalardan güneş enerjili evlere ve biyoyakıtlara kadar CO<sub>2</sub> salınımı daha az olan birçok çevre dostu ürün geliştirilmeye başlandı. Hatta insanoğlu bir adım daha ileri giderek şehirleri bile yeşil hale getirmeyi düşünür oldu.



Source: Cisco VNI Mobile, 2011

Şekil 1. Bölgelere göre öngörülen veri trafiği artışı [3]

Bilgi ve İletişim Teknolojisi (BİT) sanayisi tüm dünyada üretilen enerjinin %3'ünü tüketerek atmosfere salınan toplam CO<sub>2</sub>'nin %2'sinden sorumludur [1][2]. Şekil 1'de bölgelere göre telsiz veri trafiğindeki öngörülen artış yansıtılmıştır. Veri üretim ve iletişimindeki üssel artış göz önüne alındığında, BİT sektörünün birkaç on yıl içinde en çok CO<sub>2</sub> salınımı yapan sektörlerden biri olacağı tahmin edilmektedir. Bu sebeple, BİT alanında enerji tasarruflu yeşil çözümler uygulanması elzemdir. Telsiz Hücreli Ağlar (THA) BİT sektörünün büyük bir bölümünü oluşturduğundan, THA'larda alınacak önlemlerin genel olarak yeşil bir BİT sektörü oluşturmak için ciddi katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

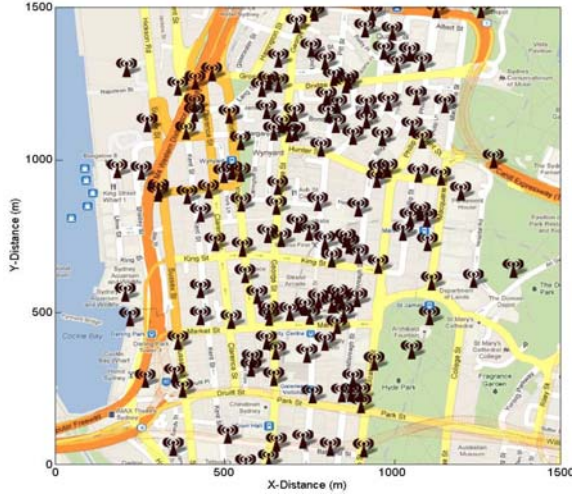


Şekil 2. THA'larda enerji tüketim dağılımı [4]

Yeşil çözümler için bir diğer motivasyon unsuru ise yüksek enerji maliyetleridir. Enerji fiyatlarındaki artışla birlikte, tüketicilerin yanı sıra, telekomünikasyon firmaları da enerji tasarruf etmek için daha fazla çaba harcamaya başlamışlardır. Enerji için harcanan yüksek tutarlar ile tüketilen bu enerjinin doğa üzerindeki olumsuz etkileri göz önüne alındığında, yeni enerji tasarruf yöntemlerine olan ihtiyaç daha da belirgin hale gelmektedir.

THA'lar birçok parçadan oluşsa da, Şekil 2'de görüldüğü üzere enerjinin büyük bölümü Baz İstasyonları (Bİ) tarafından tüketilmektedir. Bu nedenle, THA'ların en önemli ögesi olan Bİ'ler enerji tasarruf etmek için el atılması gereken en doğru yer olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada da, yeşil hücreli ağlarda Bİ'lerin nasıl kullanıldığına değinilecektir.

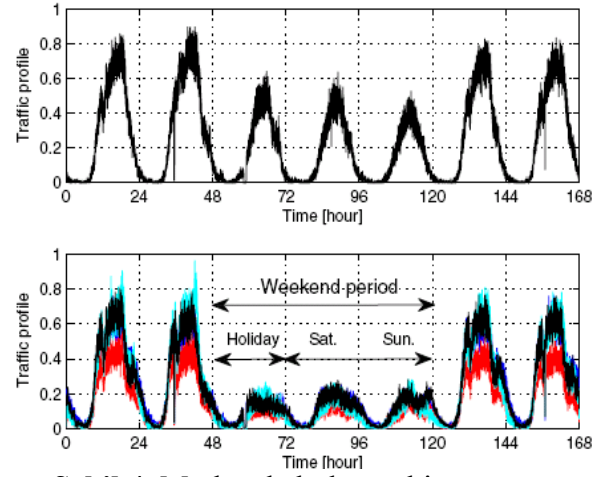
Her geçen gün kullanıcıların kalite standartlarının ve ihtiyaçlarının artması, THA servis sağlayıcılarını zaman ve mekân ayırımı gözetmeksizin belirli bir seviyenin üzerinde hizmet vermeye mecbur hale getirmiştir. Bu hizmeti sağlamak için de kullanılan Bİ sayısı hızla artmaktadır. Şekil 3'te Sidney Avustralya'da bulunan İş Merkezi Bölgesinin (Central Business District) Avustralya iletişim ve Medya Merkezi



**Şekil 3.** Sidney/Avustralya’da bulunan İş Merkezi Bölgesinin tek bir operatöre ait Bİ haritası

verilerine dayanılarak [5] oluşturulmuş ve tek bir operatöre ait olan Bİ haritası verilmiştir. Haritanın kapsadığı alan 1.5 km x 1.5 km’dir ve toplam 139 Bİ bulunmaktadır. Bu Bİ yoğunluğunun sebebi THA operatörlerinin Bİ’leri genellikle en yoğun trafiğe göre yerleştirmesidir. Ancak yoğun trafik genellikle günün çok kısa bir bölümünde gözlenmektedir. Şekil 4’te bir merkezi Bİ ve dört komşu Bİ’den bir hafta boyunca toplanan gerçek bir trafik kesiti sunulmuştur. Beklendiği gibi gece geç saatlerde trafik yükü bir hayli azalmaktadır. Ticaret ya da iş merkezi gibi yerlerde hafta sonları ve tatil günleri de trafik yoğunluğu az olabilmektedir. Bu sebeple THA’larda kullanılan altyapı donanımlarından trafiğin yoğun olmadığı zamanlarda yeterince istifade edilememekte, bu da kaynak israfına sebep olmaktadır. Dolayısıyla, ihtiyaç fazlası Bİ sayısı azaltılarak hem ciddi miktarda enerji tasarrufu sağlanabilir hem de CO<sub>2</sub> salınımı azaltılabilir. Ayrıca, aktif Bİ sayısının azalması, elektromanyetik kirliliğin azalmasına da yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada; yeşil THA’lar hakkında genel bir bilgi verilmiş ve hızla artan Bİ yoğunluğuna dikkat çekilmiştir. Ardından THA’larda enerji tasarrufu sağlamak için Bİ tarafında neler yapılabileceği incelenmiş ve literatürde bu konu ile ilgili çalışmalar gözden geçirilmiştir. Daha sonra literatürdeki



**Şekil 4.** Merkezde bulunan bir ve onun çevresindeki dört Bİ’ye ait normalize edilmiş trafik kesiti [6]

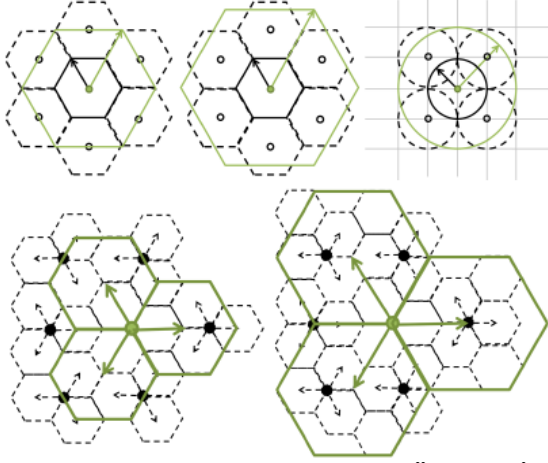
bu çalışmaların avantaj ve dezavantajları listelenmiş ve yeşil THA’lara giden yolda Bİ’ler tarafında alınabilecek önlemlerin etkin rolü vurgulanmıştır.

## 2. Yeşil THA’larda Bİ’nin Önemi

Literatürde yeşil THA’lar için Bİ tarafında uygulanabilecek bir takım yöntemler önerilmiştir. Tüm bu yöntemlerin ortak özelliği kaynak israfının önüne geçerek harcanan gücün azaltılması, dolayısıyla doğaya salınan CO<sub>2</sub> miktarının azaltılmasıdır. Ancak bunu yaparken uyulması gereken altın bir kural vardır: THA operatörleri enerji tüketimini azaltılırken, hizmet sundukları tüm alanda daima belirli bir servis kalitesini sağlamak zorundadırlar. Bir diğer deyişle öncelik her zaman kullanıcının kabul edilebilir seviyede bir hizmet almasıdır. Asıl sorun da bu aşamada ortaya çıkmakta ve araştırmacılar çalışmalarını bu yönde yoğunlaştırmaktadır. Bu yazının devamında bu çalışmaların kabaca bir sınıflandırması yapılacak ve genel olarak neler önerdikleri incelenecektir.

### 2.1 Bİ Yerleştirme

Literatürdeki çalışmalardan bazıları, henüz Bİ yerleri tasarım aşamasındayken enerji tasarrufunu göz önünde bulundurarak belirli geometrik şekillere göre yerleştirilmelerini öngörmektedir. Böylece trafik yoğunluğunun azaldığı dönemlerde önceden belirlenen



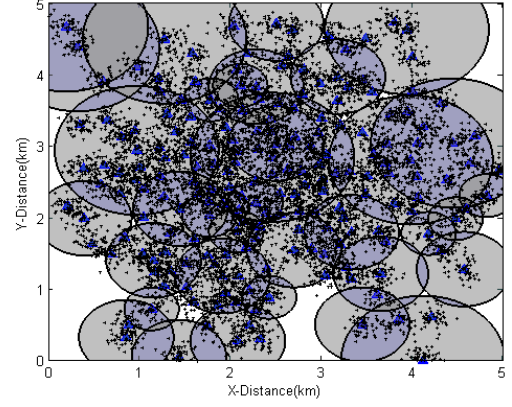
**Şekil 5.** Enerji Tasarrufu için Örnek Bİ Yerleşimleri [7]

Bİ'ler kapatılarak enerji tasarrufu sağlanmış olur. Bu çalışmalara örnek olarak Marsan ve arkadaşlarının önerileri gösterilebilir [7]. Şekil 5'te çeşitli geometrik Bİ dizilimleri ve düşük trafikte kapsama alanlarının nasıl değişeceği gösterilmiştir. Bu çalışmalarda; kapsama alanı, enerji tüketimi, yük kapasitesi vb. özellikleri bakımından türdeş Bİ'ler kullanmak yerine, ihtiyaca göre farklı tipteki Bİ'lerin (femto, piko, mikro, makro) kullanılması da enerji tasarrufuna ciddi katkılar yapmaktadır.

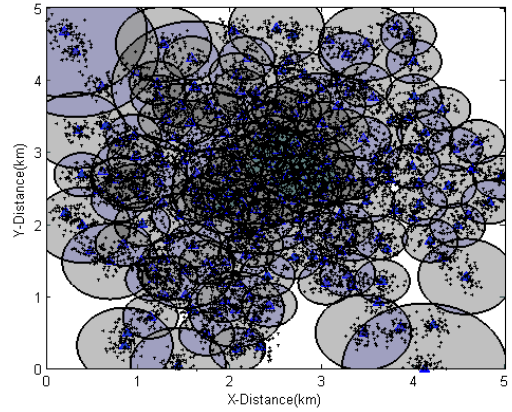
Bu yöntemin avantajı trafiğin azaldığı zamanlarda enerji tasarruf etmek için fazladan bir hesaplama gerektirmemesidir. Dezavantaj olarak henüz Bİ yerleri tasarım aşamasındayken uygulanabilmesi, hâlihazırda kullanılmakta olan ağlara uygulanamaması sayılabilir.

## 2.2 Bİ Kaynaklarını Devingen Kullanma

Yeşil THA'larda en çok uygulanan yöntemlerden biri de Bİ kaynaklarının mevcut trafik yoğunluğunu dikkate alınarak kullanılmasıdır. Ancak Bİ yerleri değişmeden ya da ek Bİ'ler kurmadan, mevcut Bİ şebekesi üzerinde uygulanır. Bu yöntemde "ihtiyacın kadarını kullan" prensibi benimsenir ve Bİ kaynakları hücredeki trafik yoğunluğu arttıkça aktif hale getirilirken yoğunluk azaldıkça devre dışı bırakılır. Bu kaynaklara örnek olarak kapsama alanı (güç)



**(a)** Hafif Trafik (Gece)



**(b)** Yoğun Trafik (Öğleden sonra)

## Şekil 6. Devingen Bİ Planlama Örneği

ve frekans sayılabilir. Şekil 6'da trafik yoğunluğuna göre yayın gücünü uyarlayan bir Bİ şebekesinin örnek kapsama alanı verilmiştir. Saker ve arkadaşları [8] GSM ve 3G için kaynakların devingen kullanılmasını önerirken, Tipper ve arkadaşları [9] ise kaynak israfını önlemek için birleşik bir eniyileme problemi formüle etmişlerdir.

THA'larda kaynakların devingen kullanımı söz konusu olduğunda, Bİ-kullanıcı ilişkilendirmesi daha da fazla önem kazanmaktadır. Zira bir Bİ'nin tamamen kapatılması, kapsama alanının ya da kullandığı frekans sayısının değişmesi hizmet verebileceği coğrafi bölgeyi ve kullanıcı sayısını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle literatürde devingen Bİ planlamayla birlikte Bİ-kullanıcı ilişkilendirmesi de çalışılmıştır [10].

Devingen kaynak kullanımı konusunda literatürde iki farklı karar mekanizması benimsenmiştir: Merkezi ve Dağıtılmış. Merkezi karar mekanizmasında kaynakların açılması ya da kapatılmasına tüm ağı gözlemleyebilen bir birim karar verir. Dağıtılmış mekanizmada ise aksine Bİ'ler mevcut şartları değerlendirerek kendi kaynaklarını nasıl kullanacaklarına kendileri karar verirler.

Bu yöntemin avantajı mevcut ağı üzerinde değişiklik yapmadan, olduğu gibi uygulanabilmesidir. Ancak hangi kaynağın, ne zaman ve ne ölçüde açılıp kapatılacağı hesaplanması ve karar verilmesi ise eniyileme metodları ile çözülmesi gereken problemler ortaya çıkarmaktadır.

### 2.3 Farklı Operatör Bİ'lerinin Ortak Çalışması

THA hizmeti veren şirketlerin sayısının artmasıyla birlikte bir coğrafi bölgede iki ya da daha fazla operatörün servis sağlaması sıkça rastlanır bir durum haline gelmiştir. Ancak iletişim sektöründeki yüksek rekabet şartlarından ötürü servis sağlayıcılar birbirleriyle yardımlaşmaktan, hatta bilgi paylaşımında bulunmaktan bile genellikle uzak durmaktadırlar. Her ne kadar gerçek hayatta durum böyle olsa da, literatürde aynı hizmeti veren şirketlerin belirli sınırlar dahilinde kaynaklarını birbirlerinin kullanımına açarak ortaklaşa çalışması ile hatırı sayılır miktarda enerji tasarrufu sağlandığını bildiren çalışmalar mevcuttur [11].

### 2.4 Bİ'lerde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanılması

Nadiren de olsa enerji nakil hatlarından uzakta kalan bölgelerde elektrik üretme ihtiyacı doğmaktadır. Bu ihtiyaç ilk etapta dizel jeneratörler kullanılarak aşılmaya çalışılmış fakat yüksek maliyetli olması ve atmosfere ciddi miktarda CO<sub>2</sub> salması nedeniyle günümüzde yerini daha sürdürülebilir olan biyoyakıt, güneş ya da

rüzgâr enerjisine bırakmıştır. Bahsedilen sürdürülebilir enerji kaynaklarıyla hem enerji maliyetleri düşürülmekte, hem de sera gazı salınımı neredeyse hiç yok denecek kadar azaltılmaktadır. Öte yandan bu yöntemin dezavantajı kullanılan enerji kaynağının devamlılığı ve güvenilirliğinin bazen yeterli seviyelerde olamamasıdır.

## 3. Sonuç

Bu çalışmada, öncelikle yeşil THA'lar hakkında genel bir bilgi verilmiş ve THA'larda enerji tasarruf etmek için Bİ'ler üzerinde ne gibi tedbirler alınabileceği araştırılmıştır. Ardından bu konuda literatürde ne gibi çalışmalar olduğu incelenmiş ve bu çalışmaların avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

Enerji fiyatlarının atması ve her geçen gün toplumların çevreye daha duyarlı hale gelmesi, önümüzdeki günlerde yeşil yöntemlerin daha fazla önem kazanacağını habercisi olarak değerlendirilmektedir. THA'larda konuyla ilgili araştırmacıları bekleyen en önemli sorun, belirli bir servis kalitesini her zaman sağlayarak, kaynak kullanımı mevcut şartlara uyarlamak ve enerji tasarruf etmek olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Teşekkür:** Bu çalışma, Devlet Planlama Teşkilatı'nın 2007K120610 numaralı TAM Projesi tarafından desteklenmiştir.

## 4. Kaynaklar

[1] "Smart 2020: Enabling the low carbon economy in the information age". **The Climate Group, Global e-Sustainability Initiative (GeSI)**, <http://www.smart2020.org>, (2008).

[2] "Understanding the environmental impact of communication systems", **Independent regulator and competition authority for the UK communications industries**, <http://stakeholders.ofcom.org.uk/market-data-research/other/technology-research/research/sector-studies/environment>, (2009).

- [3] “Cisco white paper on Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2011-2016”, **Cisco**, (2012).
- [4] Saker, L.; Elayoubi, S.E.; , "Sleep mode implementation issues in green base stations," **Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2010 IEEE 21st International Symposium on** , 1683-1688, (2010)
- [5] Spench.net, “Australian geographical radio frequency map, <http://maps.spench.net>,” (2012).
- [6] E. Oh and B. Krishnamachari, “Energy savings through dynamic base station switching in cellular wireless access networks,” in **Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), IEEE**, 1–5, (2010).
- [7] M. Marsan, L. Chiaraviglio, D. Ciullo, and M. Meo, “Optimal energy savings in cellular access networks,” **Communications Workshops. ICC Workshops IEEE International Conference** 1–5 (2009).
- [8] L. Saker and S. Elayoubi, “Sleep mode implementation issues in green base stations,” in **Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2010 IEEE 21st International Symposium**, 1683–1688 (2010).
- [9] D. Tipper, A. Rezgui, P. Krishnamurthy, and P. Pacharintanakul, “Dimming cellular networks,” in **Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2010), 2010 IEEE**, 1–6, (2012).
- [10] K. Son, H. Kim, Y. Yi, and B. Krishnamachari, “Base station operation and user association mechanisms for energy-delay tradeoffs in green cellular networks,” **Selected Areas in Communications, IEEE Journal**, vol. 29, no. 8, 1525–1536, (2011).
- [11] M. A. Marsan and M. Meo, “Energy efficient management of two cellular access networks,” **SIGMETRICS Perform. Eval. Rev.**, vol. 37, 69–73, (2010).