

CDMA SİSTEMLERİNDE İNTERFERANS ANALİZİ

Muhammet ŞİMŞEK¹

Aktül KAVAS²

^{1,2}Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Elektrik-Elektronik Fakültesi

Yıldız Teknik Üniversitesi, 34349, Beşiktaş, İstanbul.

¹e-posta: muhammet_simsek@yahoo.com ²e-posta: kavas@yildiz.edu.tr

Anahtar sözcükler: CDMA, interferans, makro hücre, mikro hücre, sıcak nokta.

ABSTRACT

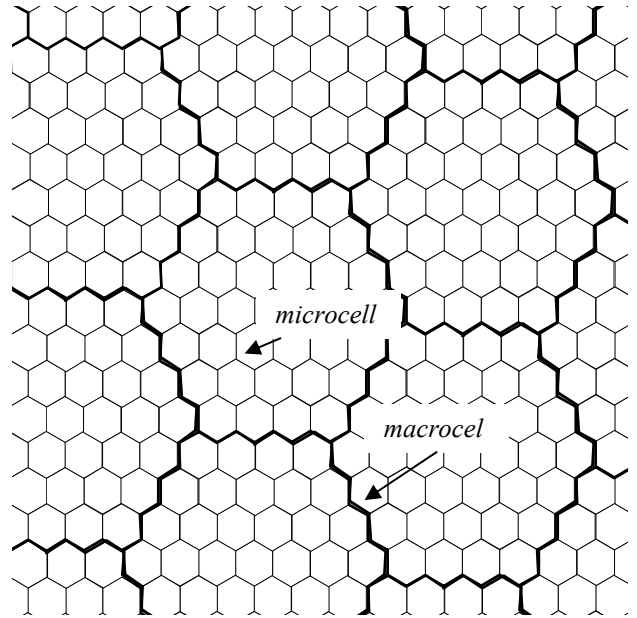
In this study, the interference in Code Division Multiple Access (CDMA) communication link for both the microcell and macrocell under a hierarchical structure is investigated. C/I is obtained by computer simulation. The capacities of macrocell and microcell in the over-laying /under-laying structure are limited by uplink and downlink, is presented.

1. GİRİŞ

Mobil telefon ve internet üzerinden veri aktarımı haberleşme sektörünün en büyük başarılarındandır. İnternet üzerinden bilgi aktarımında her ay milyonlarca yeni kullanıcı sisteme dâhil olmakta ve veri trafiği her altı ayda iki katına çıkmaktadır. Bugün gelinen noktada internet, bilginin toplanması ve dağıtılmasında en büyük teknoloji olarak gözükmektedir. Üçüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinde mobil telefon ve internet güçleri birleştirilmekte, böylece istenilen konumda ve istenilen zamanda bilgiye yüksek hızlarda kolayca erişilebilmektedir.[1]

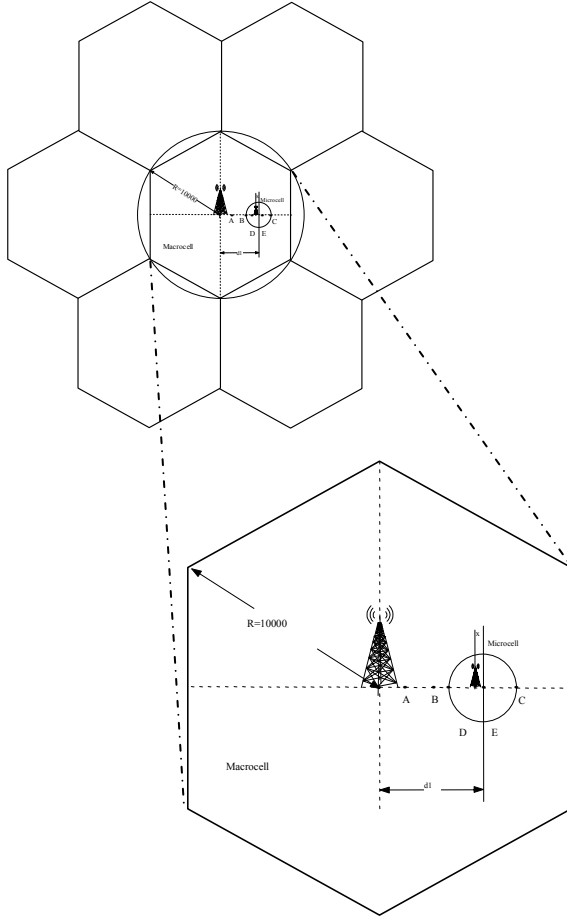
Mobil telefon haberleşmesinde, servis verilen bölgedeki haberleşme trafiği kapasitesini artırmak için hücre boyutlarını küçültmek ve hücre gruplarını servis alacak abone sayısına göre ölçeklendirmek gerekmektedir. Hücre planlayıcılar bu yöntemi yoğun yerleşim alanlarında, özellikle şehir merkezlerinde tercih etmektedirler. CDMA hücre planlamasında mikro hücre ve makro hücrelerden oluşan hiyerarşik hücre yapısı sıklıkla kullanılır.[2][3] Bu yapı hücresel şebekeyi katmanlara böler. Yüksek katmanlar makro hücreler; daha düşük katmanlar ise mikro hücreler için tanımlanmıştır. Makro hücreler, büyük alanların, kapsama alanlarındaki boşlukların kapsanması ve mikro hücrelerin üzerinde şemsiye hücre gibi davranması için hücresel şebekede sıklıkla kullanılmaktadır. Diğer taraftan mikro hücreler sınırlı bir alandaki yoğun trafiğe cevap verebilmek; dolayısıyla kapasiteyi artırmak için kullanılmaktadırlar. Makro hücre yapısı içinde kullanılan mikro hücre yapısı “sıcak nokta” olarak tanımlanmaktadır. Makro hücre / mikro hücre yapısında haberleşmek isteyen aboneye öncelikle en alt katmandan başlayarak sinyal ataması yapılır. Bir

başka deyişle abone, ilk olarak mikro hücre üzerinden haberleşmek isteyecek; bu mümkün olmadığında bir üst katman olan makro hücre haberleşmeyi sağlayacaktır.



Şekil-1 Makro hücre - mikro hücre yapısı.

Bu çalışmada interferans analizi için esas alınan makro hücre - mikro hücre yapısı, CDMA haberleşmesi için şekil-1 de verilmektedir. CDMA hücresel şebekesi için kapasite, taşıyıcı gücünün interferans gücüne oranı tarafından belirlenir. Taşıyıcı gücünün interferans gücüne oranı ortak kanal interferansı tarafından sınırlandırılır. Bu çalışmada makro hücre içine gömülmüş tek mikro hücre, “sıcak nokta” yapısı (şekil-2) esas alınarak interferans hesaplanmıştır.



Şekil-2 Makro hücre grubu içinde “sıcak nokta” olarak yer alan mikro hücre yapısı.[2]

Yapılan çalışmada önerilen hücre yapısına bağlı olarak mikro ve makro hücrede aşağı link için taşıyıcı gücünün interferans gücüne oranı hesaplanırken parametre olarak; makro / mikro hücre verici gücü, anten kazancı, yol kayıpları ve abone sayıları kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda CDMA sistemlerinde kapasiteyi belirleyen eşdeğer taşıyıcı gücünün interferans gücüne oranının, aşağı link taşıyıcı gücünün interferans gücüne oranı tarafından sınırlandırıldığı görülmüştür.

2. ŞEBEKE MODELİ, KABULLER VE ERİŞİM ONAYLAMA

Şekil-2 de makro hücre grubu içinde sıcak nokta olarak yer alan mikro hücre yapısı gösterilmektedir. Burada merkez makro hücrenin baz istasyonundan d kadar uzaklıkta mikro hücre yerleştirilmiştir. d mesafesinde kırılma noktasından önce ve kırılma noktasından sonra alınan güçler;

$$P_r = \begin{cases} \frac{(\lambda/4\pi)^2 \times P_t}{d^2} & , d \leq bp = \frac{4\pi h_{ms} h_{bs}}{\lambda} \\ \frac{(h_{ms} \cdot h_{bs})^2 \times P_t}{d^4} & , \text{aksi halde} \end{cases} \quad (1)$$

olarak elde edilir. Güç hesabında kırılma noktasından önceki yol kaybı (serbest uzay kaybı) d^2 ile, kırılma noktasından sonraki yol kaybı ise d^4 ile orantılıdır.

Burada P_t vericinin efektif izotropik radyasyon gücü (E.I.R.P), h_{ms} aboneye ait cep telefonu anten yüksekliği, h_{bs} baz istasyonu anten yüksekliği ve bp ise kırılma noktasıdır.

Bu çalışmada sistem modellemesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

1. Makro hücre ve mikro hücredeki aboneler her bölgede düzgün dağılımlıdır (makro hücre ve mikro hücredeki yoğunluklar farklıdır). Şekil-1 e göre her bir altigen aynı alan karakteristiğine sahiptir.
2. CDMA sisteminin kapasite hesabı, aşağı link ve yukarı link kapasitelerinin ayrı ayrı hesaplanmasıyla belirlenecektir.
3. Hesaplama sinyal şiddeti güç kontrolüne dayanmaktadır.
4. Makro hücre BTS anten yüksekliği 45m ve mikro hücre BTS anten yüksekliği 6m olarak alınmıştır. Mikro hücre hücre yarıçapı 1,000m, makro hücre hücre yarıçapı 10,000m alınmıştır. Kırılma noktası ise $f=900\text{MHz}$ için

$$bp = \frac{4\pi h_{ms} h_{bs}}{\lambda} \quad \text{formülüne göre makro}$$

hücre için 2,545m mikro hücre için 339m olarak hesaplanmıştır.

5. Cep telefonlarının karakteristikleri makro hücre ve mikro hücre için aynı kabul edilmiştir. Hareketlilikten kaynaklanan karakteristikler ihmal edilmiştir.

CDMA haberleşmesinde hareketli abone baz istasyonlarından aldığı sinyallerin şiddetini karşılaştırarak şebekeye bağlanır. Hareketli abone baz istasyonuna erişimini en güçlü pilot sinyali aldığı baz istasyonu üzerinden yapar. Hareketli abone en güçlü pilot sinyalini haberleşmek istediği baz istasyonunu tanımladığında baz istasyonu hareketli aboneden aldığı yukarı link C/I oranının eşik $(C/I)_{th,u}$ değeri ile karşılaştırır. Aboneden alınan C/I oranının eşik değerden küçük olması durumunda aboneye şebekeye erişim izni verilmez ve erişim talebi bloke olur. Benzer işlem aşağı link haberleşmesi için de geçerlidir. Hareketli abone baz istasyonundan aldığı sinyali eşik $(C/I)_{th,d}$ değeri ile karşılaştırır, sinyalin eşik değerden küçük olması durumunda erişim izni verilmez ve atanan kanal bloke edilir.

3. MAKRO HÜCRE VE MİKRO HÜCRE C/I ANALİZİ

Aşağı link için C/I Analizi

Erişim onaylamadaki bakış açısıyla, mikro hücre baz istasyonundan mikro hücre sınırında alınan pilot sinyal gücü ile makro hücre baz istasyonundan mikro hücre sınırında alınan pilot sinyal güçleri eşit olmaktadır. Mikro hücre sınırı makro hücre kırılma

noktasından uzakta alınmıştır. Mikro hücre baz istasyonundan mikro hücre merkezine olan uzaklık x ile ifade edilmiş olup mikro hücre sınır noktası olan B noktasında (şekil-2) alınan pilot sinyal gücü;

$$P_{rmicroB} = \frac{(h_{ms} h_{bsmicro})^2 \times \alpha_{micro} \times P_{tmicro}}{(r-x)^4} \quad (2)$$

dir.

Burada α_{micro} mikro hücre için pilot sinyalin güç kesridir. Benzer olarak B noktasında makro hücre BTS den alınan pilot sinyal gücü;

$$P_{rmacroB} = \frac{(h_{ms} h_{bsmacro})^2 \times \alpha_{macro} \times P_{tmacro}}{(d_1 - x)^4} \quad (3)$$

Burada α_{macro} pilot gücünün BTS in aşağı link gücüne oranıdır. d_1 makro hücre ve mikro hücre hücre merkezleri arasındaki uzaklığı ifade eder. Yukarıdaki formüller (1) numaralı formüle benzerdir. $macro$ ve $micro$ alt simgeleri sırayla makro hücre ve mikro hücreyi ifade eder. B noktasında makro hücre ve mikro hücreden alınan güçler eşittir. Buna göre baz istasyonlarından iletilen güçler aşağıdaki formülü sağlamalıdır.

$$P_{tmicro} = \frac{h_{bsmacro}^2 \times (r-x) \times \alpha_{macro}}{h_{bsmicro}^2 \times (d_1 - r)^4 \times \alpha_{micro}} P_{tmacro} \quad (4)$$

Benzer formül şekil-2 deki C noktası için;

$$P_{rmicroC} = \frac{(h_{ms} h_{bsmicro})^2 \times \alpha_{micro} \times P_{tmicro}}{(r+x)^4} \quad (5)$$

$$P_{rmacroC} = \frac{(h_{ms} h_{bsmacro})^2 \times \alpha_{macro} \times P_{tmacro}}{(d_1 + r)^4} \quad (6)$$

olarak elde edilir.

Mikro hücre sınırında makro hücre ve mikro hücre baz istasyonlarında alınan güçlerin eşit olduğu varsayımıyla;

$$P_{tmacro} = P_{tmicro} \left(\frac{h_{bsmacro}}{h_{bsmicro}} \right)^2 \left(\frac{r+x}{d_1+r} \right)^4 \left(\frac{\alpha_{macro}}{\alpha_{micro}} \right) \quad (7)$$

elde edilmektedir.

(4) ve (7) numaralı formüllerden x için

$$x = r^2/d \quad (8)$$

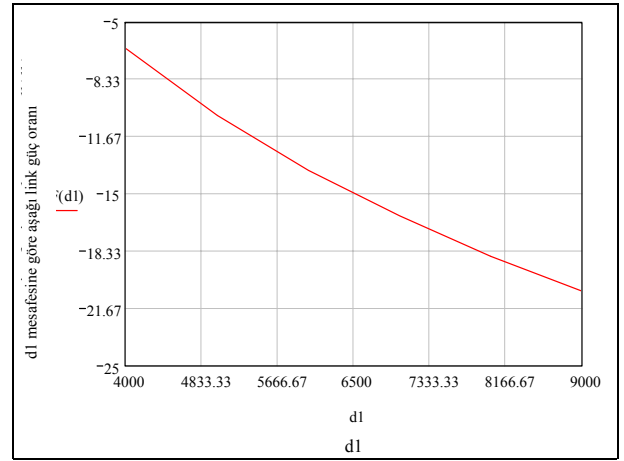
ifadesi geçerlidir.

(8) nolu formülünden mikro hücre sınırında alınan güçlerin eşit olması için mikro hücre baz istasyonun mikro hücre merkezinden x kadar uzağa konulması gerektiği görülmektedir. Buradan çıkaracağımız ikinci sonuç; mikro hücrenin makro hücre merkezine olan

uzaklığına göre mikro hücre baz istasyonunun mikro hücre merkezine uzaklığı değiştiğidir. (8) nolu formül (4) nolu formül içinde yerleştirilerek güç oranı şu şekilde yazılır;

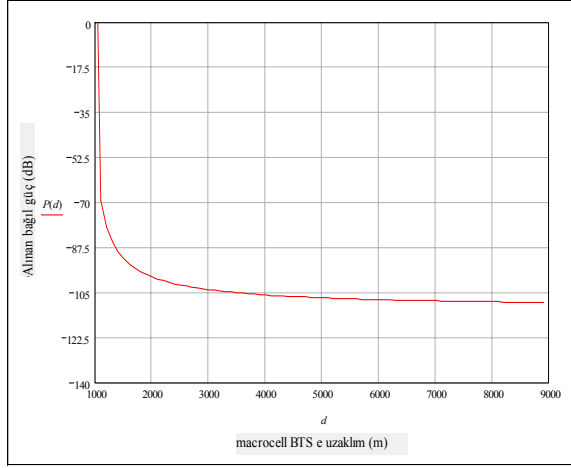
$$\frac{P_{tmacro}}{P_{tmicro}} = \frac{h_{bsmicro}^2 d_1^4 \alpha_{micro}}{h_{bsmacro}^2 r^4 \alpha_{macro}} \quad (9)$$

Burada, maksimum makro hücre ve mikro hücre kapasitesini elde etmek için α_{macro} ve α_{micro} 0.01 olarak alınmıştır. [4]



Şekil-3 d1 mesafesine göre aşağı link güç oranı

Şekil-3 de görüldüğü gibi mikro hücre ile makro hücre baz istasyonu arasındaki mesafe arttıkça mikro hücre baz istasyonundan makro hücre içindeki bir aboneye iletilen güç azalır. Sadece eşdeğer makro hücre veya sadece eşdeğer mikro hücrelerden oluşan durumda mikro hücre veya makro hücre baz istasyonlarından iletilen güçler hücre yarıçapı, baz istasyonu anten yüksekliğine bağlıdır. Şekil-3 e göre $d_1=9,000m$ için mikro hücre baz istasyonundan iletilen gücün, makro hücre baz istasyonundan iletilen güçten 22.5 dB daha az olduğu hesaplanır. Buna karşın $d_1=4,000m$ için mikro hücre baz istasyonundan iletilen gücün makro hücre baz istasyonundan iletilen güçten 6.6dB küçük olduğu görülür. Mikro hücrenin konumu makro hücre baz istasyonuna ne kadar yakın alınırsa, makro hücre baz istasyonundan kaynaklanan interferans arttığı için mikro hücreden iletilen güç büyür. Bu olay mikro hücre baz istasyonunun yüksek güç kazançlı kuvvetlendiricilerle desteklenmesini gerektirir, bu da maliyeti ve boyutlarını artırır. Şekil-4 makro hücre ve mikro hücre için d_1 5,000m olduğunda aşağı link pilot güç karakteristiğini göstermektedir.[4][5]



Şekil-4 makro hücre ve mikro hücre aşağı link pilot sinyal gücü.

Güç kontrolü olmaksızın aşağı linkte baz istasyonundan herhangi bir yerdeki hareketli aboneye iletilen güç aynıdır. Merkezi makro hücre ve mikro hücredeki hareketli abonede oluşan C/I oranları (10) ve (11) formülleriyle elde edilir. Burada N makro hücredeki aktif abone sayısı, M mikro hücredeki aktif abone sayısını, (path_loss) makro hücre içi yol kaybı, (path_loss)' mikro hücre için yol kaybı, (path_loss)_i komşu makro hücreler için yol kaybını ifade eder. Paydadaki üçüncü terim komşu 6 makro hücreden kaynaklanan interferanstır.

Yukarı Link İçin C/I Analizi

C/I analiz metodunda, hücre sınırlarını her iki yönde de sağlamak için yukarı link ve aşağı link formları özdeş olmalıdır. Makro hücre gücünün mikro hücre gücüne oranının mutlak değeri yukarı link ve aşağı link için eşittir. Başka bir deyişle, yukarı link için gereksinimler şunlardır;

1. Sınır noktalarında hareketli tarafından alınan verici gücü makro hücre ve mikro hücre BTS için de aynıdır.
2. Kendi hücresinin kapsama alanının içinde BTS hareketlinin ilettiği güçten ve konumundan bağımsız olarak aynı gücü alır. [4]

Sinyal şiddeti esas alınarak güç kontrolü hesabına göre, makro hücre ve mikro hücre için yukarı link C/I oranı sırasıyla aşağıdaki gibi elde edilir;

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{\text{micro}} = \frac{\frac{P_{\text{micro}}(1-\alpha_{\text{micro}})}{M} \times (\text{path_loss})'}{\left(1 - \frac{(1-\alpha_{\text{micro}})}{M}\right) P_{\text{micro}} \times (\text{path_loss})' + P_{\text{macro}} (\text{path_loss}) + \sum_{i=1}^6 P_{\text{macro}} (\text{path_loss})_i} \quad (10)$$

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{\text{macro}} = \frac{\frac{P_{\text{macro}}(1-\alpha_{\text{macro}})}{N} \times (\text{path_loss})}{\left(1 - \frac{(1-\alpha_{\text{macro}})}{N}\right) P_{\text{macro}} \times (\text{path_loss}) + P_{\text{micro}} (\text{path_loss})' + \sum_{i=1}^6 P_{\text{macro}} (\text{path_loss})_i} \quad (11)$$

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{\text{macro}} = \frac{P_r}{(N-1)P_r + \sum_{i=1}^M P_r' \left(\frac{r_i}{d_i}\right)^4 \left(\frac{h_{\text{bsmacro}}}{h_{\text{bsmicro}}}\right)^2 + I_{\text{macro}}} \quad (12)$$

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{\text{micro}} = \frac{P_r'}{(M-1)P_r' + \sum_{i=1}^N P_r \left(\frac{d_i}{r_i}\right)^4 \left(\frac{h_{\text{bsmicro}}}{h_{\text{bsmacro}}}\right)^2 + I_{\text{micro}}} \quad (13)$$

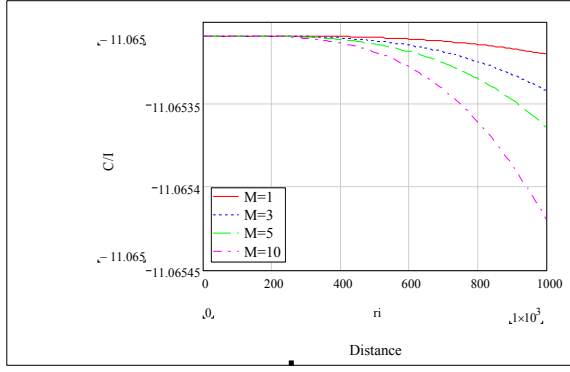
P_r ve P_r' sırasıyla makro hücre ve mikro hücre baz istasyonlarından alınan hareketli aboneye ait güçleri, N ve M sırasıyla makro hücre ve mikro hücre içindeki aktif hareketli abone sayısını belirtir. Paydadaki birinci terim aynı baz istasyonundan haberleşen diğer hareketli abonelerden kaynaklanan interferansı, ikinci terim ise diğer çeşit baz istasyonundan haberleşen hareketli abonelerin toplamından kaynaklanan interferansı ve r_i ve d_i sırasıyla i. Hareketli abonenin haberleştiği baz istasyonuna olan uzaklığı ve diğer tip baz istasyonuna uzaklığı ifade eder. Üçüncü terim ise I_{macro} (veya I_{micro}) komşu makro hücrelerden merkezi makro hücreye (veya mikro hücre) olan interferansı tanımlar.

$$I_{\text{macro}} = \sum_{i=1}^6 P(di = 2R) = 0.378NP_r \quad (14)$$

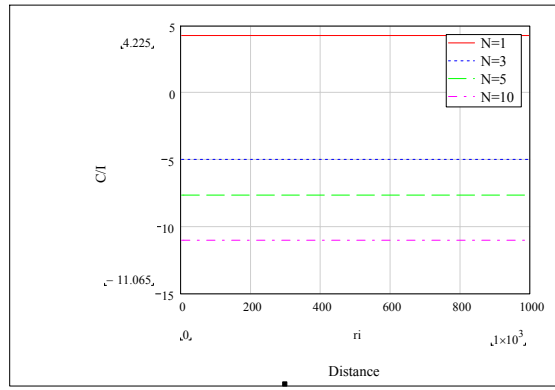
$$I_{\text{micro}} = \sum P(d_i)(h_{\text{bsmicro}} / h_{\text{bsmacro}})^2 = i_s NP_r \quad (15)$$

$$i_s = \sum_{i=1}^6 2(h_{\text{bsmicro}} / h_{\text{bsmacro}})^2 \left[\frac{2(d_i / R^2) \ln \frac{d_i^2}{d_i^2 - R^2}}{-\left(\frac{4d_i^4 - 6d_i^2 R^2 + R^4}{2(d_i^2 - R^2)^2}\right)} \right] \quad (16)$$

(12) ve (13) numaralı eşitlikleri kullanarak yukarı link için makro hücre ve mikro hücre yapısında verilen mesafelere göre ve kullanıcı sayısı parametre olarak alındığında C/I oranı şekil-5 ve 6 de verildiği gibi elde edilir.[4][5]



Şekil-5 Mikro hücre abone sayısı parametre alınarak makro hücrede yukarı link C/I oranı



Şekil-6 Makro hücre abone sayısı parametre alınarak makro hücre yukarı link C/I oranı

C/I güç kontrol metodu olması sebebiyle, hücre sınırları tamamıyla aşağı linke bağlıdır. Bu sebeple,

hareketli abone aşağı linkin hücre sınırını korumak için her zaman ilettiği gücü ayarlar.[5]

4. SONUÇ

Bu çalışmada C/I oranının fonksiyonu olarak yüksek katman / düşük katman makro hücre / mikro hücre yapısının sistem performansı incelenmiştir. Sonuç olarak, mikro hücre kapasitesinin aşağı link interferansı tarafından belirlendiğini saptanarak aşağı link güç kontrolü ile mikro hücre kapasitesinin artırılabilceği anlaşılmış; hiyerarşik yapıdaki makro hücre kapasitesi yukarı link tarafından mikro hücre interferansı ile sınırlanmış olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Wireless Communications: Principles and Practice, Theodore S. Rappaport, Theodore Rappaport Second Edition 2002, Prentice Hall PTR
- [2] Peter Stavroulakis. "Interference analysis and reduction for wireless systems", Artech House, 2002 .
- [3] The CDMA Network Engineering Handbook, vol. 1, Mar. 1991, Qual- comm.
- [4] Wu, Jung-Shyr, Jen-Kung Chung, and Yu-Chuan Yang, "Performance Improvement for a Hotspot Embedded in CDMA Systems," IEEE VTC '97, Phoenix, AZ, May 4-7, 1997.
- [5] Nakano, Keisuke, et al., "Teletraffic Modelling in CDMA Cellular Systems," IEEE VTC '97, Phoenix, AZ, May 4-7, 1997.