

HÜCRESEL AĞLARDA EN KÜÇÜK ERİMLİ FREKANS ATAMA PROBLEMİ İÇİN ALT SINIRLAR

Cüneyt F. BAZLAMAÇCI ¹

Barış KARADENİZ ²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531, Ankara

²Aselsan A.Ş., P.K.101, Yenimahalle, Ankara

¹ e-posta: cuneytb@metu.edu.tr

² e-posta: BKaradeniz@hc.aselsan.com.trr

Anahtar sözcükler: En Küçük Erimli Frekans Atama Problemi, Hücresel Ağlar, Klik

ABSTRACT

The frequency assignment problem arises when a large number of transmitters are operating in a region and the interference is to be minimized while using the spectrum efficiently. Since the frequency assignment problem is an NP-hard, lower bounding techniques play an important role both in the exact solution attempts and in determining the quality of the upper bounds. In this work, two of the recently proposed lower bounding approaches for cellular networks are empirically evaluated for their relative performance using benchmark problems found in the literature and randomly generated instances. An integrated software, which is specifically developed for this purpose, is also presented.

1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim sistemlerinin tüm dünyada hızla yayılması, kısıtlı frekans spektrumunun en iyi şekilde kullanımını önemli bir sorun haline getirdi. Frekans atama problemi (FAP), bir bölgedeki çok sayıda verici istasyonunun, toplam karışma miktarını en az seviyede tutarak, frekans spektrumunu en verimli şekilde kullanmaya çalışmaları sonucu ortaya çıkar.

En genel şekliyle FAP zor bir problemdir. Kısıtlı sayıda vericinin yer aldığı küçük sistemler için en iyi çözümler bulunabilmesine karşın, problemin genel zorluğu, büyük ağlarda en iyi atamanın bulunmasını hemen hemen imkansız hale getirir. Bu da her hangi bir atamanın kalitesinin belirlenmesini oldukça önemli bir problem haline getirmekte ve bu amaçla çeşitli alt sınır tekniklerine baş vurulmaktadır. Bir çok araştırmacı tarafından geliştirilmiş farklı alt sınır teknikleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, en küçük erimli frekans ataması problemi (ER-FAP) için yakın zamanda önerilmiş bulunan iki alt sınır tekniği karşılaştırılmaktadır.

Bildirinin ikinci bölümünde hücresel ağlarda ER-FAP problemi ve bu çalışmada karşılaştırılan alt sınır

yöntemleri çok kısaca tanıtılmakta, üçüncü bölümde kullanılan karşılaştırmalı değerlendirme problemleri, geliştirilmiş tümleşik yazılım ürünü "FAPTest" ve ilgili görgül değerlendirme sunulmaktadır. Son olarak dördüncü bölümde de sonuçlar tartışılmakta ve gelecek çalışmalar için olası yönler verilmektedir.

2. FREKANS ATAMA PROBLEMİ

Problem Tanımı

ER-FAP, sahip olunan frekansların, kabul edilmez karışımlar olmayacak şekilde ve kullanılan frekansların en küçüğü ile en büyüğü arasındaki fark, yani erimin de, en küçük olacak şekilde atanması problemidir.

Bu çalışma yalnızca türdeş (hücre) ağ modellerini göz önüne almaktadır. Bu tip ağlarda, vericiler tarafından kapsanan alan, belirli sayıda ve genellikle altıgen hücrelere bölünmekte ve her bir hücreye de bir verici/frekans adedi atanmaktadır. Vericilerin hücreler şeklinde gruplanmasının çözüm yöntemlerinin etkinliğini artırma yönünde belirli avantajları bulunmaktadır. Aynı zamanda gerçek dünyada karşılaşılan uygulamalar da bu şekilde daha iyi modellenebilmektedir. Öte yandan, daha genel ve türdeş olmayan modelde, her bir verici tek başına ve ayrı olarak değerlendirilir. Türdeş model gerçekte, türdeş olmayan modelin bir özel hali olup, türdeş modelle tanımlanmış herhangi bir ağ da kolaylıkla türdeş olmayan modele dönüştürülebilir.

Bu paragrafta türdeş olmayan ER-FAP'ın çizge kuramsal bir tanımı sunulmaktadır. Bu tanımda vericiler bir G kısıt çizgesinin $V(G)$ düğümleri ve düğümler arasındaki kısıtlar da $E(G)$ ayrıtları olarak temsil edilir. Her bir $v_i, v_j \in V(G)$ ayrıtının negatif olmayan bir tamsayı etiketi, ϕ_{ij} , bulunur. Eğer iki düğüm arasında bir frekans kısıtı (zorunlu aralığı) bulunmuyorsa, bu düğümler bir ayrıtla birbirine

bağlanmazlar. Kısıt çizgesi G 'de bir *frekans ataması*, $|f(v_i) - f(v_j)| > \phi_{ij}$ kısıtlarının tüm $v_i, v_j \in E(G)$ için sağlandığı bir $f: V(G) \rightarrow F$ (F , frekansları temsil eden $0, \dots, K$ 'ya sıralı tamsayılar kümesi olmak üzere) eşlemesidir. Eğer hiçbir kısıt ihlal edilmiyorsa, buna *sıfır-ihlalli atama* denir. F kümesi frekanslardan oluşur. Eğer K sıfır-ihlalli tüm atamalar içindeki en küçük ise, bu atama *en iyi atama*'dır. Bu en iyi K değeri de G 'nin *en küçük erimi* olarak adlandırılır.

ER-FAP için alt sınır bulunmasında “klik”ler önemli bir rol oynar. Bir G çizgesinin p -düzeyi kliği, her bir ayrıtın en az p etiketine sahip olduğu ve benzer daha büyük bir tam altçizge tarafından içerilmeyen bir tam altçizgedir.

Matematik Programlama Temelli Alt Sınır

Smith, Hurley and Allen [1] ER-FAP için matematik programlama temelli bir model önerdiler. Bu tanımlama, aynı yazarlarca daha önce hücrel olmayan ağlar için önerilmiş bir modelin hücrel ağlar için uyarlanmış ve geliştirilmiş şeklidir. Bu uyarlama ile problem boyutu oldukça küçülmekte ve çözüm süresi de kısalmaktadır. Aşağıda doğrudan ve çok kısaca, hücrel model için uyarlanmış problem tanımı sunulmaktadır.

Minimize

$$\sum_{r \neq 0} (\bar{c}_{rr} S_{rr} + E_{rr}) + \sum_{r \neq s, r, s \neq 0} (\bar{c}_{rs} S_{rs} + E_{rs})$$

Subject to $\sum_{s \neq 0} S_{0s} = 2$

$$S_{r0} + 2S_{rr} + \sum_{s \neq r, s \neq 0} S_{rs} = 2m_r$$

$$(r \neq 0, m_r = |V(C_r)|)$$

$$(\bar{c}_{rr} - 2\bar{c}_{rs})(S_{rs} - m_s) \leq E_{rs}$$

$$(\bar{c}_{ss} - 2\bar{c}_{rs})(S_{rs} - m_r) \leq E_{rs}$$

Bu tamsayı programlama modeli çözüldüğünde hücrel ER-FAP için bir alt sınır değeri bulunur.

Frekans İlavesi Temelli Alt Sınır

Tcha, Chung ve Choi [2] Gamst'ın [3] daha önce önerdiği tekniği temel alan yeni bir alt sınır yöntemi önerdiler. Gamst'ın metodunu uygulamak, gerekli ön koşulları sağlama zorluğu nedeniyle oldukça güç olmasına rağmen, Tcha *et al.* bu sınır üzerindeki geliştirmeleri ile eski yöntemle göre daha kolaylıkla uygulanabilen bir yöntem ve daha iyi kalitede bir sınır elde etmeyi başarmışlardır. Bu bildiride, Tcha *et al.* yönteminin detaylı sunuşu mümkün olmadığından, okuyucu ilgili kaynaklara yönlendirilmektedir [2,3]. Ancak yine de aşağıda, daha sonraki bölümlerin kolay izlenebilmesi için, yalnızca terminoloji ve Gamst'ın yöntemi çok kısaca özetlenmektedir.

Hücrel bir ağda hücreler, x_i 'nin i hücresini temsil ettiği $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ kümesi şeklinde tanımlanır. X için, negatif olmayan tamsayı bileşenlerden oluşmuş $M = (m_i)$ şeklinde bir de ihtiyaç vektörü tanımlanmıştır. m_i , x_i hücresinin gereksinim duyduğu frekans adedini verir. Hücreler arasında gerekli en küçük frekans ayrımları da c_{ij} 'in x_i and x_j arasındaki kısıtı ifade ettiği, bir simetrik uyumluluk matrisi $C = (c_{ij})$ şeklinde verilmiştir. Bu durumda $P = (X, M, C)$ üçlüsü bir ER-FAP tanımlar.

Eğer $c_{ij} = v$ ise x_i ve x_j hücrelerine birbirleriyle v -uyumlu denir. $P = (X, M, C)$ bir ER-FAP olsun ve v, v' da $v' > v$ şeklinde positif tamsayılar olsun. Bu durumda X 'in bir alt kümesi Q' 'ya, eğer tüm $x_i, x_j \in Q$ için $c_{ij} \geq v$ ise, v -tam adı verilir. Eğer Q, X 'in v -tam bir alt kümesi ve Q' da Q 'nun v' -tam bir alt kümesi ise, X 'in (Q, Q') alt küme çiftine de (v, v') -tam denir.

Bir “ v -tam küme” ile “ v -düzeyi klik” aynı anlamı taşımaktadırlar. Dolayısıyla, aşağıda söz edilen tüm n -tam kümeler n -düzeyi klikler olarak düşünülebilirler. Yukarıda ki tanıma göre (v, v') -tam olan alt küme çifti (Q, Q') , Q bir v -düzeyi klik ve Q' da v' -düzeyi ve daha yüksek düzeyli bir kliktir anlamına gelmektedir. Her iki küme de X 'in alt kümeleridir.

Aşağıdaki alt sınır Gamst [3] tarafından bulunmuştur. $P = (X, M, C)$ bir ER -FAP olsun ve X 'in (v, v') -tam alt küme çifti (Q, Q') in olduğunu varsayalım, öyle ki ;

$$c_{ij} \geq v' > v, \quad \text{for all } x_i \in Q' \text{ and } x_j \in Q. \quad (1)$$

If $\sum_{x_i \in Q'} m_i > 0$, let

$$L_1 = 1 + v' \sum_{x_i \in Q'} m_i + v \left(\sum_{x_i \in Q} m_i - 1 \right).$$

Then $S_0(P) \geq L_1$.

(1) numaralı koşulu sağlayan bir (v, v') -tam alt küme çiftini bulmak zordur. Bu koşul Q ve Q' içerisinde bulunan tüm hücreler arasındaki frekans aralığının Q' klik düzeyi olan v' 'a eşit ya da büyük olmasını gerektirmektedir. Tcha *et al.*, (1) numaralı bu koşulu gevşeterek ve Q and Q' arasında bulunan hücre çiftlerinin v' -tam olma zorunluluğunu kaldırarak yeni bir alt sınır türetmişlerdir. “Frekans ilavesi” isimli bir yöntem kullanmışlar ve buradaki parametreleri de bir en büyük akış problemi ile çözmüşlerdir. Bu yöntemin detayları [2] nolu kaynakta yer almaktadır.

3. KARŞILAŞTIRMALAR

Smith *et al.* yöntemi, problemi, bir tam ikili eşleme (perfect two matching) problemi ile ek frekans atama kısıtları şekline indirger. Bu yüzden bu çalışmada ilgili alt sınır PTMP+FAP sınırı olarak, benzer şekilde

Tcha *et al.* yöntemi de frekans ilavesi anlamında FI olarak adlandırılmıştır.

PTMP+FAP ve FI yöntemlerinin her ikisi de, ağın, klik ya da tam alt küme denilen bir kısmına uygulanırlar. Dolayısıyla her ikisi de girdi problem boyutunda bir küçülmeye neden olurlar. Eğer bu klik iyi seçilmiş ise ve kısıt değerleri de uygunsa, o zaman bu klik için bulunmuş olan en küçük erim, nihai erimde bir artışa neden olmadan tüm ağ içerisindeki frekans istekleri için kullanılabilir. Her iki yöntemin de bir kliğe uygulanması, gerçek anlamda bir problem gevşemesi olmayabileceği gibi, oluyorsa da her ikisinde de benzer bir etki yapmaktadır.

FI uygulanmadan önce, ağın hedef kliği içindeki kısıtlar, v ya da v' 'a indirgenir. Bu ER-FAP için önemli de önemsiz de olabilecek bir gevşetmedir. Frekans ayrımları, büyük ölçüde vericiler arası mesafeye bağlıdır. Bu nedenle tipik bir ER-FAP'ta, sıfır dahil, 3 ya da 4 farklı ayırım değeri bulunur. Dolayısıyla bu çalışmada incelenen bir çok problemde de, FI'nın uygulandığı alt ağda, ayırım ya da kısıt değerleri zaten v ya da v' 'dir.

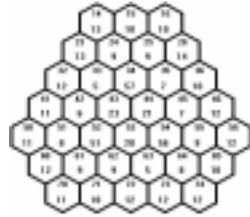
İki yöntem arasındaki en büyük fark ve FI yönteminin en önemli olumsuzluğu ise, aynı hücre (cosite) kısıtlarının FI'da göz önüne alınmamasıdır.

Karşılaştırmalı Değerlendirme Problemleri

Bu çalışma da karşılaştırmalı değerlendirme amacıyla, Philadelphia problemleri, bunları değiştikleri ve diğer bazı rastgele oluşturulmuş ağlar kullanılmıştır. Tüm özgün Philadelphia problemleri ve değiştiklerinde aynı ağ topolojisi (Şekil 1), diğer rastgele ağlarda ise farklı topolojiler kullanıldı (örneğin Şekil 2).



Şekil 1 Philadelphia Problemleri Ortak Ağ Topolojisi



Şekil 2 Rastgele Ağ Topolojisi G2

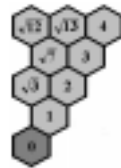
Philadelphia problemlerinde, her bir hücrenin bir frekans gereksinimi sayısı ve uzaklığa bağlı hücreler arası girişim değerleri vardır. Uzaklık küçüldükçe, frekans ayırımının da daha büyük olması gerekmektedir. Philadelphia problemleri arasındaki fark, gereksinim vektörleri ile tekrar kullanım uzaklıklarıdır. Rasgele ağlar da, yine altıgen hücreler sistemi gibi, ancak farklı topoloji ve hücre sayıları ile yaratılmışlardır. Teknik yazında, 5 farklı ölçekte tekrar kullanım uzaklığı (RU) ve 5 farklı gereksinim vektörü kullanılmıştır (Tablo 1 ve 2). Tcha *et al.* [3] tarafından kullanılmış olan ölçek RU 3 ile aynıdır.

Tablo 1 Tekrar Kullanım Ölçekleri

RU Ölçeği	En Küçük Frekans Ayrımı (d)					
	0	1	2	3	4	5
RU 1	$\geq \sqrt{12}$	$\geq \sqrt{3}$	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 0
RU 2	$\geq \sqrt{7}$	$\geq \sqrt{3}$	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 0
RU 3	$\geq \sqrt{12}$	≥ 2	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 0
RU 4	$\geq \sqrt{12}$	$\geq \sqrt{3}$	≥ 1	≥ 1	≥ 0	≥ 0
RU 5	$\geq \sqrt{12}$	$\geq \sqrt{3}$	≥ 1	≥ 0	≥ 0	≥ 0

Table 2 Frekans İhtiyaç Vektörleri

D1	8,25,8,8,8,15,18,52,77,28,13,15,31,15,36,57,28,8,10,13,8
D2	5,5,5,8,12,25,30,25,30,40,40,45,20,30,25,15,15,30,20,20,25
D3	20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20,20



Şekil 3 Uzaklıklar

Şekil 3'te 4 birim uzaklıktaki komşular gösterilmemektedir çünkü bu mesafedeki ve daha uzakdaki vericiler arasında bir frekans ayırımı kısıtı bulunmamaktadır. Aynı şekilde 60 derecelik açı içerisindeki hücreler

gösterilmiştir çünkü altıgenler kullanıldığından diğer yönlerdeki komşular da simetri nedeniyle aynı uzaklık ve dolayısıyla kısıt değerlerine sahiptirler.

Bu çalışmada, karşılaştırmaların daha sağlıklı ve adil olabilmesi için, beş özgün yeniden kullanım ölçeğinin yanı sıra, hücre içi (cosite) değerlerinin hücreler arasında en büyük kısıta eşit olarak seçildiği beş yeni ölçek daha kullanılmıştır. Çünkü büyük hücre içi değerleri, iki yöntemle elde edilen sonuçlar arasında oldukça büyük farklar ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

10 farklı ağ ve 10 farklı ölçekle 100 farklı problem ortaya çıkmıştır (Tablo 3). Bu, 11 özgün Philadelphia problemiyle karşılaştırıldığında oldukça büyük bir sayıdır ve daha sağlıklı bir karşılaştırmayı mümkün kılmaktadır.

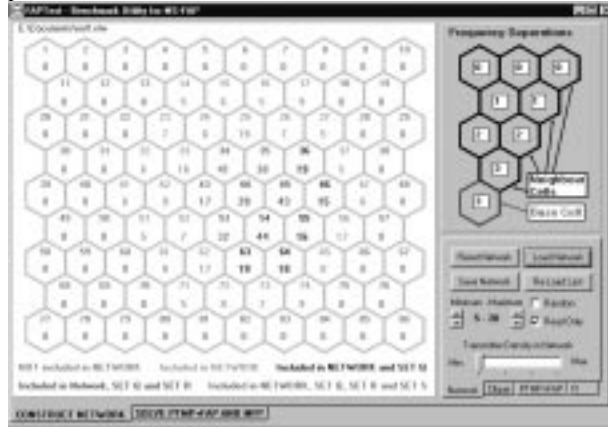
Table 3 Testlerde kullanılan Ağ Örnekleri

No	Ağ Örneği	Topoloji	İhtiyaç Vektörü	Toplam Frekans Gereksinimi
1	P 1	Philadelphia	D1	481
2	P 2	Philadelphia	D2	470
3	P 3	Philadelphia	D3	420
4	P 4	Philadelphia	D1x2	962
5	P 5	Philadelphia	D1x4	1924
6	P 6	Philadelphia	D2x3	1410
7	P 7	Philadelphia	D3x3	1260
8	G 1	-	-	754
9	G 2	-	-	526
10	G 3	-	-	563

Tümleşik Alt Sınır Yazılımı -- FAPTest

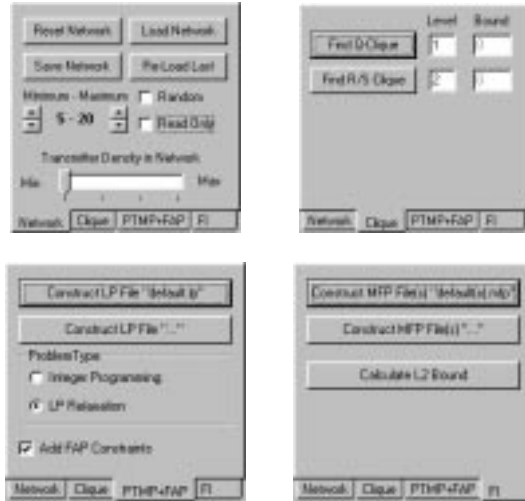
FAPTest, bir grafik kullanıcı arayüzü (GKA) yardımıyla, herhangi bir hücresel ağın kolaylıkla yaratılabildiği bir ağ düzenleyici modül ile PTMP+FAP ve FI yöntemlerinin tüm alt bileşen ve alt yordamlarını içeren bir test modülünden oluşur.

Yazılımın ana GKA'sı Şekil 4'te sunulmaktadır. Ana altıgen panel kullanılarak hücreler eklenebilmekte, çıkarılabilmekte ya da hücrelerin verici sayıları değiştirilebilmektedir. GKA'da kullanılan çeşitli renkler ile her hücrenin durumu gösterilir. Bir hücreye tıklandığında gerekli değişikliklerin yapılabildiği bir pencere açılır.



Şekil 4 FAPTest Grafik Kullanıcı Arayüzü - I

Sağ üst köşedeki daha küçük altıgen panel, uzaklığa bağlı frekans ayarım kısıtlarını girmek için kullanılmaktadır. Sağ alt köşedeki ayrılarlar ile de Şekil 5'de verilen kontroller aktive edilir.



Şekil 5 Çeşitli Arayüz Modülleri

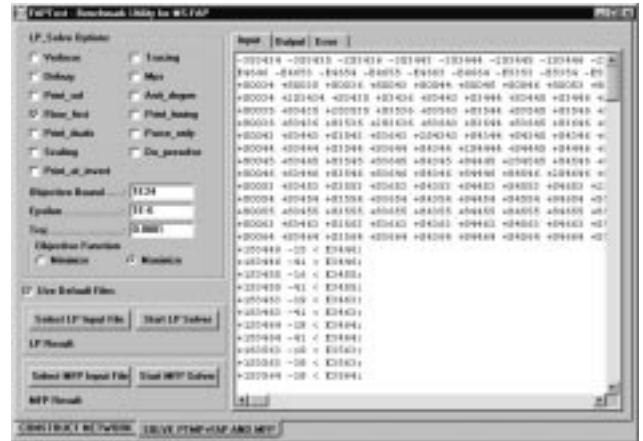
Bu kontrollardan ilki, ağı yükleme/saklama, yeniden başlatma, ağa rastgele sayıda vericiler içeren hücreler ekleme, verici yoğunluğunu artırma, vb. işlemlerle ilgilidir.

İkincisi, ağda klik bulma arayüzüdür. Kullanıcı istenilen klik düzeyini girer. Bulunan Q-düzeyi klik FI

yönteminin Q kümesi ve PTMP+FAP yönteminin uygulandığı altçizge olarak kullanılır. Bulunan R/S kliği de FI yönteminin R kümesidir.

Üçüncü ve dördüncü kontroller, sırasıyla PTMP+FAP ve FI yöntemleri için gerekli alt problemlerin oluşturulması için kullanılan ara yüzlerdir. Smith *et al.*'in yöntemi için birinci ara yüz ile kliklerin bulunmasının ardından kullanıcının isteğine göre, bir PTMP gevşetmesi, PTMP+FAP gevşetmesi, PTMP doğrusal programlama (DP) gevşetmesi veya PTMP+FAP DP gevşetmesi oluşturulabilir. FI yöntemi için gerekli alt problem otomatik olarak oluşturulur. Kullanıcı, yalnızca frekans ilave etme parametrelerinin üst sınırları için gerekli en büyük akış problemlerinin (MFP) oluşturulmasını tetikler.

Alt problemler oluşturulduktan sonra kullanıcı, ana arayüzün ikinci kısmını aktive eder (Şekil 6) ve her bir yöntem için çözüm yordamlarını tetikler. Sağ gösterge, girdi, çıktı ve hata mesajları için kullanılır. Sonuç değerleri, göstergenin sol alt kısmında her bir yöntem için ayrı ayrı verilir.



Şekil 6 FAPTest Grafik Kullanıcı Arayüzü - II

Burada "LP result" olarak elde edilen değer PTMP+FAP yönteminin alt sınırı iken, "MFP result" olarak elde edilen değer, FI yönteminde frekans ilave sayılarının maksimumu için üst sınırdır. Son olarak "Calculate" düğmesi ve MFP'den elde edilen bu α and β değerleri kullanılarak hedef alt sınır değeri bulunur.

Hesaplamaya Dayalı Sonuçlar

Sözü edilen tüm ağ konfigürasyonları FAPTest kullanılarak ve uygun klikler ile çözüldü. Değişik ağlar, farklı düzeyler için farklı kliklere sahip olduğundan, PTMP+FAP yöntemi olası tüm kliklere uygulanırken, FI yöntemi de bu kliklerin olası tüm kombinasyonlarına uygulandı. Sonuçların küçük bir bölümü (yalnızca P1 ve G1 örnekleri) Tablo 4'te sunulmaktadır. Ağ içindeki kısıtların en büyüğü 2'den büyük ise bu değeri ifade etmek için "C" harfi kullanılmıştır. C değeri, RU 1, RU 2 ve RU 3 için 5, RU 4 için 4, RU 5, RU 6 ve RU 7 için de 3 alınmıştır.

En büyük kısıt 2'den büyük olduğu için RU 8, RU 9 ve RU 10 için C değeri tanımlanmamıştır. Her yöntem için tablodaki en iyi sonuçlar koyu olarak sunulmaktadır.

Table 4 Karşılaştırmalı Sonuçlar

Ağ	Metod	Klık Düzeyi		Tekrar Kullanım Ölçeği									
		Q	R	RU 1	RU 2	RU 3	RU 4	RU 5	RU 6	RU 7	RU 8	RU 9	RU 10
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P1	PTMP+FAP	1	-	426	426	524	426	426	729	608	459	370	370
		2	-	413	413	449	370	370	644	591	442	370	370
		C	-	380	380	380	304	228	555	555	-	-	-
	FI	1	2	370	370	460	370	370	549	426	460	370	370
		1	C	380	380	380	359	359	555	555	-	-	-
		2	C	413	413	449	370	370	644	591	-	-	-
G1	PTMP+FAP	1	-	493	461	579	493	493	875	637	499	493	397
		2	-	410	410	454	382	382	730	609	454	382	382
		C	-	365	365	365	292	219	573	573	-	-	-
	FI	1	2	493	398	500	493	493	685	454	500	493	398
		1	C	493	365	493	493	493	573	573	-	-	-
		2	C	410	410	454	382	382	731	609	-	-	-

Bu çalışmadan çıkan genel sonuç, Smith *et al.*'in PTMP+FAP yönteminin, Tcha *et al.*'in FI yönteminden üstün olduğudur. Problemlerin %46'sında PTMP+FAP ile elde edilen alt sınır FI ile elde edilen sınırdan çok daha yukarıdadır. Problemlerin %41'inde, her iki yöntem de aynı sonucu vermiş, yalnızca %13'ünde FI yöntemi ile daha iyi sonuç elde edilmiştir.

FI yönteminin daha iyi sonuç verdiği problemlerin %92'sinin kısıtlar setinde, yalnızca iki farklı frekans ayırımı değeri bulunmaktadır. Bu problem setinin %60'ında FI, PTMP+FAP'a göre daha iyi sonuç vermiştir ancak FI ve PTMP+FAP sonuçları arasındaki fark yalnızca 1'dir.

PTMP+FAP'ın daha iyi olduğu durumlarda bulunan bu alt sınır FI ile bulunan alt sınıra göre ortalama olarak %9. daha iyidir. FI'nın daha iyi olduğu durumlarda bu oran yalnızca %0.3 olarak ortaya çıkmaktadır. Tüm problemler göz önüne alındığında, PTMP+FAP sonuçları FI sonuçlarına göre ortalama olarak %5.4 daha iyidir. Tüm örnek problemlerde bu alt sınırları bulma süresi edilebilecek kadar küçüktür.

Sözü edilen her iki çalışma üzerinde yapılan ayrıntılı testler ile aşağıdaki öngörüler kanıtlanmıştır. Hücre içi kısıtları ER-FAP için önemlidir. FI yönteminin hücre içi kısıtlarını düşürmesi alt sınır kalitesini de ciddi oranda düşürür. Bu kalite düşüşü iki safhada olmaktadır. Birincisi, başlangıça hazırlama, ikincisi ise frekans ilavesi safhasıdır. RU 6'dan RU 10'a kadar olan problemlerde kullanılan ölçekler, hücre içi kısıt değerlerinin ağda bulunan hücreler arası kısıt değerlerinden daha büyük olmamasını sağlayacak

şekilde seçilmiştir. Bu ölçek ayarlaması ile başlangıça hazırlama aşamasında ortaya çıkan kalite düşüşü elimine edilir. RU 6 ve RU 7'ye göre ölçeklenen ağlar için, iki yöntemden elde edilen alt sınırlar arasındaki fark bu nedenle azalmıştır ancak PTMP+FAP hala daha iyidir. RU 8, RU 9 ve RU 10 ölçekleri için kısıtlar sadece 2 veya 1 (ve 0) değerlerini alır. Bu alt sınırı daha kaliteli hale getirir ve FI performansını artırır, çünkü R kümesi frekansları arasındaki her boşluğa yalnızca 1-ilave mümkündür. Bu bir frekans erimi içerisinde yapılan iki frekans ilavesinin ardına yapılamayacağı anlamına gelir. Bu durum da FI yöntemindeki ikinci kalite azalması durumunu ortadan kaldırır. Sonuç olarak FI yöntemi, RU 8, RU 9 ve RU 10'a göre ölçeklenmiş ağlar için aynı ya da daha iyi sonuçlar verir. Ancak bu durumda da her iki sınır arasındaki fark 1'den fazla değildir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, frekans atama problemi için kaliteli alt sınırlar üretmek için önerilen son iki algoritmik gelişme değerlendirilmiştir. Çalışmanın iki temel katkısı bulunmaktadır. Birinci katkı, bu iki tekniğin ayrıntılı olarak karşılaştırılması, ikincisi katkı da hücresel ağlarda frekans planlaması için bütünlük bir yazılım aracının geliştirilmiş olmasıdır.

Philadelphia problemleri ve rastgele üretilmiş ağlar üzerinde, farklı kısıt setleri kullanılarak ayrıntılı testler gerçekleştirilmiştir. FAPTest yazılımı, bir grafik ara yüzü yardımıyla her çeşit hücresel ağın kolaylıkla oluşturulabildiği ve hem PTMP+FAP hem de FI yöntemleri için test modüllerini içermektedir. Bu yazılım yalnızca alt sınır bulma amaçlı değil, gelecekte hazırlanacak, üst sınır ve diğer en iyileme yöntemlerini de içeren bütünlük bir en iyileme aracının yapı taşlarından biri olarak da kullanılabilir.

Çalışma temel sonuç olarak, PTMP+FAP yönteminin FI yönteminden daha iyi olduğuna işaret etmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Smith D.H., Hurley S., Allen S.M., A New Lower Bound for the Channel Assignment Problem, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, Vol 49, No 4, pp 1265-1272, 2000.
- [2] Tcha D., Chung Y., Choi T., A New Lower Bound for the Frequency Assignment Problem, IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, Vol 5, pp. 34-39, 1997.
- [3] Gamst A., Some Lower Bounds for a Class of Frequency Assignment Problems, IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, Vol 35, pp.8-14, 1986.
- [4] Karadeniz B., Lower Bounds for the Minimum Span Frequency Assignment Problem in Cellular Networks, MSc Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2001.