

# Telekom ağlarında kademeli fiyatlandırmayla kapasite kiralınması ve iş dağılımı

Nihat KASAP<sup>\*1</sup>, Berna TEKTAŞ SİVRİKAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sabancı Üniversitesi, Yönetim Bilimleri Fakültesi, Tuzla, 34956, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Maçka, 3436, İstanbul, Türkiye

## Özet

*Bu çalışmada bir şirketin, birden fazla tedarikçiden ağ kapasitesi kiralarken karşılaşılabileceği eniyileme problemi incelenmiştir. Problem ele alınırken, bir firmanın veri ağları üzerinde gerçekleştirebileceği işler sabit zamanlı ve sabit boyutlu işler olmak üzere başlıca iki kategoriye ayrılmıştır. Bu iki kategorideki işlerin ihtiyaç duydukları zaman ve bant genişlikleri ile kalite gereksinimleri oldukça farklıdır. Bu nedenle çalışmada; farklı fiyat, kalite ve görev dağılımlarının firmaların optimal davranışını nasıl etkilediği analiz edilmiştir. Problemin karmaşıklığını biraz olsun azaltmak amacıyla, kaynak ve talep hazır olduğu sürece, kapasite için bir üst limit bulunmadığı ve kapasitenin limitsiz olduğu varsayılmıştır. Firmaların bu maliyet en küçültme problemi modellenirken, Courcoubetis ve diğerlerinin (2000a) önerdiği her bir tedarikçinin doğru parçalarından oluşan dışbükey doğrusal amaç fonksiyonuna sahip olduğu kademeli (tax-band) fiyatlandırma politikası dikkate alınmış ve amaç fonksiyonu iki tür maliyeti yansıtan şekilde oluşturulmuştur. Bu maliyetlerden ilki, tedarikçilerin farklı fiyat seviyelerini yansıtan satın alma maliyetidir. İkinci maliyet ise, son teslim tarihlerinin kaçırılması veya vadelerin geçirilmesi, kalitenin düşmesinden kaynaklanan maliyetler ve karar merci bilinçli olarak hizmet niteliği düzeyini düşürdüğünde veya başka bir tedarikçiye yöneldiğinde meydana gelen hizmet niteliği değişim maliyeti gibi olası fırsat maliyetleridir. Ayrıca, gevşetilmiş problemin çözümünde daha iyi bir alt sınır elde etmek için Genelleştirilmiş Bender Ayrıştırma (Generalized Bender's Decomposition – GBD) algoritması uygulanmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Telekomünikasyon ağları, hizmet niteliği, kademeli (tax-band) fiyatlandırma.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Nihat KASAP. nihatk@sabanciuniv.edu; Tel: (216) 483 96 84.

Makale metni 04.07.2008 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 09.09.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.01.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Capacity acquisition and task allocation with tax-band pricing in telecom networks

### Extended abstract

Usage of data networks encompasses not only the traditional data applications but also newer applications such as real-time audio/video streaming, voice over TCP/IP, real-time transactions, asynchronous messaging and other batch transactions over digital networks. Each application has different capacity and quality of service (QoS) requirements. Each is affected differently by network reliability and speed. Major network providers have already started efforts to accommodate the QoS demand generated by these applications.

Providers charge differently for the capacity they sell. For example, Internet service providers (ISPs) offer a combination of fixed price for a fixed maximum bandwidth (all-you-can-send) or pay per hour (or minute) for again a maximum bandwidth. Wireless phone companies charge for text messaging based on bytes sent. Certain calling plans offer different per minute charges for phone conversations depending on when the call is placed.

A firm uses data networks to perform and support business operations, which we will call tasks. For example, a videoconference is a type of task, so is a remote web site update. The obvious commonality is that both tasks require network resources. A network resource is characterized by its capacity (bandwidth and duration) and QoS. We assume that the contract signed between the firm and the provider specifies the amount of bandwidth and quality guaranteed at a given time. Duration specifies the period during which the resource is available.

There are two types of costs associated with using data networks. The first one is the resource (i.e., bandwidth, capacity) acquisition cost. The second is the opportunity cost incurred due to insufficient quality realized in performing certain tasks such as video conferencing. Given a heterogeneous set of tasks and resources that differ in bandwidth and quality requirements, it might be in the firm's best interest to use either multiple providers or sign multiple contracts with different bandwidth and quality requirements. For example, while resources with lower quality can be used for data applications,

more expensive resources might be utilized for real-time applications with high QoS requirements. Therefore, the problem that the firm has to solve is a cost minimization problem that reflects a trade off between the cost of acquiring resources and the opportunity cost of degradation in realized quality of tasks performed.

The quality of service of the resource affects the customer in two ways. First, size-fixed tasks might be delayed beyond acceptable deadlines. Second, the realized quality of a time-fixed task such as a videoconference might be unacceptable creating an opportunity cost for the customer. In general, opportunity cost reflects the importance of a task. The more important the task is, the higher the penalty for not achieving desired targets (such as audio or visual quality). The decision maker will minimize the total cost by considering the trade-off among these costs when assigning tasks to resources.

In our study we formulate a cost minimization problem subject to QoS and capacity constraints. We consider the tax-band pricing scheme suggested by Courcoubetis et al. (2000a) in which each supplier has a convex piecewise-linear cost function for each resource offered. Courcoubetis et al. (2000a) claim that tax-band pricing reduces bursty traffic since customers are likely to reduce such demand to avoid paying more. Suppliers in general would prefer having more customers with less capacity demand rather than fewer customers with high capacity demand.

Given this pricing structure the customer has to decide how much capacity to acquire and how to allocate tasks. For tractability we relax the due date constraints and assume that all tasks and resources are available at time zero. We also assume that real-time applications have desired transmission rates and any deviation from that creates an opportunity cost for the customer. In spirit, this is the same objective function used in Kasap et al. (2007) that trades the quality cost with the capacity cost but the cost structure for capacity is quite different in this problem.

In this study, firstly, we present tax-band pricing. Secondly, a formulation and a solution procedure based on GBD are described.

**Keywords:** Telecommunication networks, quality of service (QoS), tax-band pricing.

## Giriş

Veri şebekelerinin kullanımı sadece geleneksel veri uygulamalarını kapsamamaktadır; gerçek zamanlı sesli ve/veya görüntülü kesintisiz işlemleri, İnternet protokolü üzerinden ses aktarımlarını, eş zamanlı olmayan mesajlaşmaları ve dijital ağlar üzerindeki diğer toplu aktarımları da içermektedir. Veri ağları üzerinde gerçekleştirilen bu uygulamaların her birinin kapasite gereksinimleri ve ihtiyaç duydukları hizmet kalite düzeyleri farklıdır. Dolayısı ile her uygulama ağ güvenilirliğinden ve şebeke hızından farklı şekilde etkilenmektedir. Son zamanlarda, başlıca ağ tedarikçileri bu uygulamaların ihtiyaç duyduğu hizmet kalite düzeyini sağlama çabasına girmiştir.

Tedarikçiler kiraladıkları kapasiteleri farklı şekillerde fiyatlandırmaktadır. Örneğin, farklılaştırılmış kalitede internet girişi sağlayan birçok faturalandırma modeli bulunmaktadır. Bu farklılaştırılmış kalitedeki internet girişleri; bant genişliğinin, trafik hacminin, ilgili uygulamaların veya bant genişliğinin verimliliğinin hizmet kalite düzeyi (Quality of Service – QoS) garantisinde tekdüze fiyatlandırma, çoklu fiyatlandırma (multipart pricing) ve toplam arama süresi ile değişilen paket sayısındaki doğrusal olmayan fiyatlandırma yapılabilmektedir (Masuda ve Whang, 2006). Kablosuz telefon firmaları ise metin mesajlarını gönderilen bit üzerinden ücretlendirirken, belli telefon görüşme planları ile görüşmenin gerçekleştiği zamana göre farklı konuşma dakika ücretleri sunmaktadır.

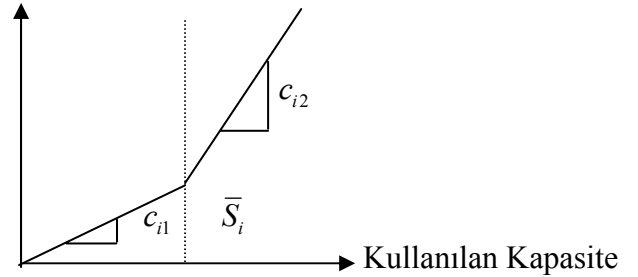
Tüketicilerin refah ve talepleri, birçok kaynakta QoS garantisindeki etkin bant genişliği için hesaplanmaktadır (Courcoubetis vd., 2000b; Charmantzis vd., 1996). Tüm bu kaynaklardan ayrı olarak, rekabetçi pazarlardaki telekomünikasyon taleplerinin özelliklerini değerlendirmek için de birçok araştırma yapılmıştır (Altman vd., 1999).

Etkin bant genişliğinin uygun bir şekilde tanımlanıp ölçülebildiği tam rekabet koşullarında şebeke tedarikçileri için kullanım temelli fiyatlandırma daha uygun bir seçenektir (Charmantzis vd., 1996). Ne var ki, Charmantsiz ve diğerleri

(1996) MPEG trafiği için kademeli (tax band) fiyatlandırmanın daha doğru olacağını göstermişlerdir. Kademeli fiyatlandırmada ana düşünce bağlantı süresini bölmektir. Courcoubetis ve diğerleri (2000a)'ne göre ise; müşteriler daha fazla ödemekten sakınmak için taleplerini düşüreceklerinden, kademeli fiyatlandırma oluşan aşırı trafiği azaltmaya yardımcı olacaktır.

Bu nedenle çalışmamızda, QoS ve kapasite kısıtları altındaki maliyet en azaltma problemini modellerken Courcoubetis ve diğerleri (2000a)'nin önerdiği her bir tedarikçinin doğru parçalarından oluşan dışbükey doğrusal amaç fonksiyonuna sahip olduğu kademeli fiyatlandırma politikası dikkate alınmıştır (Şekil 1). Problemi modellenirken basitlik sağlamak amacıyla, kaynak hazır ve piyasa mevcut bulunduğu sürece, kapasite için bir üst limit bulunmadığı ve kapasitenin limitsiz olduğunu varsayılmaktadır. Gerçek hayatta da tedarikçi firmaların pazara sundukları kapasitelerin müşterilerin ihtiyaçlarının çok üstünde olmasından dolayı müşteriler bir tedarikçiden tedarik etmek istedikleri kadar kapasiteyi kiralayabilmektedirler. Tedarikçiler kapasite altyapısını uzun vadeyi düşünerek kurdukları için günümüz ihtiyacını fazlasıyla karşılamaktadır.

### Toplam Maliyet



Şekil 1. Kaynak i için örnek fiyat eğrisi

Tedarikçiler genelde, az kapasite talebinde olan çok sayıda müşteriyi her zaman daha yüksek kapasite talebinde olan az sayıda müşteriye tercih etmektedirler. Ayrıca; az kapasite talebi olan yüksek sayıda müşteri bulunduran bir müşteri havuzu, ağ kullanımını daha düzenli bir hale getirmektedir.

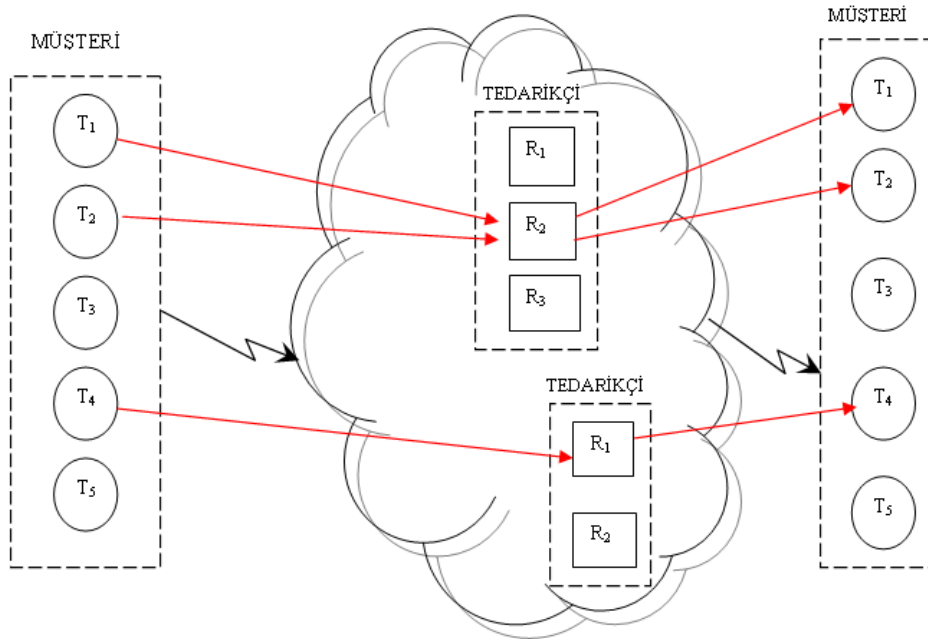
Bir firma veri ağlarını işletme faaliyetlerini gerçekleştirmek veya desteklemek için kullanır. Bu çalışmada, veri ağlarının kullanım biçimleri, veri ağları üzerinde gerçekleştirilen işler olarak adlandırılmaktadır. Örneğin, bir video konferans bir tür iştir. Web sitesinin uzaktan güncellenmesi de bir iştir. İki işin ortak noktası ise her ikisinin de ağ kaynaklarına ihtiyaç duymasıdır. Bir ağ kaynağı kapasitesi (bant genişliği ve vadesi) ve QoS'i ile nitelendirilir. Bu çalışmada, firma ve tedarikçi arasında imzalan sözleşme ile erişilebilir bant genişliğinin ve verilen süre için söz verilen kalitenin belirlendiği varsayılacaktır. Müddetin ise, sözleşmenin süresi ile belirlendiği ve kaynağın kullanılabilceği periyodu gösterdiği varsayılacaktır.

Veri şebekelerinin kullanımından doğan iki tür maliyet vardır. Bu maliyetlerden ilki kaynak yani bant genişliği (kapasite) elde etme maliyetidir. İkincisi ise video konferans gibi belirli işleri gerçekleştirirken sağlanan kalite düzeyinin yetersiz olması sonucu uğranılan zararın doğurduğu fırsat maliyetidir. Belki de bant genişliği ve kalite gereksinimlerine göre değişen kaynakların ve işlerin verilen bir heterojen seti için çeşitli tedarikçilerin kullanımı ya da farklı bant genişlikleri ve kalite gereksinimleri için çeşitli sözleşmeler yapmak firmaların menfaatine olacaktır.

Bu durumda firmalar, örneğin, düşük kalitedeki kaynakları veri uygulamaları için kullanırken, daha pahalı kaynakları yüksek hizmet kalite düzeyine gereksinim duyan gerçek zamanlı uygulamalar için kullanabileceklerdir. O halde, firmanın çözmesi gereken problem, kaynağı elde etme maliyeti ve gerçekleştirilen işin gözlenen kalite düzeyindeki düşüşün fırsat maliyeti arasındaki değiş tokuşu yansıtan maliyet en küçültme problemidir.

Bu bağlamda, problemin firma açısından modellenmesi amaçlanmıştır. Maliyet en küçültme problemi ele alınırken, firmanın farklı tedarikçilerden farklı hizmet kalitesindeki ağ kapasitelerini rekabetçi fiyatlarla alabileceği bir çevre içerisinde olduğunu farz edilmiştir. Ayrıca, tedarikçilerin herhangi bir kalite düzeyindeki bir miktar kapasiteyi rekabetçi fiyatlarla sunabileceği varsayılmıştır. Bu durumda firmanın planladığı işleri tamamlayabilmesi için Şekil 2'de görüldüğü üzere öncelikle tedarikçilerden kapasite (bant genişliği) kiralaması daha sonra planlanan bu işleri kiralanan kapasitelere dağıtması gerekmektedir.

Kaynağın hizmet kalite düzeyi müşterileri iki şekilde etkilemektedir. Birincisi, sabit boyutlu işler kabul edilebilir bir vade tarihinden daha



Şekil 2. Şebeke ortamı

sonraki bir zamana ertelenebilir. İkincisi, video konferanslar gibi, sabit zamanlı işlerin gerçekleşen kalite düzeyi kabul edilemez düzeyde olabilir ve bir fırsat maliyeti doğurabilir. Genelde, fırsat maliyeti işin önemini yansıtmaktadır. İşin önemi arttıkça video konferanslarda ses ve görüntü kalitesi gibi arzu edilen hedeflere ulaşamamanın cezası da artmaktadır. Dolayısıyla, fırsat maliyetinin büyüklüğü diğer işlerle ve kaynağın birim maliyetiyle bağlantılıdır. Maliyeti en aza indirmeyi isteyen bir karar verici, işleri kaynaklara atarken bu iki maliyet arasındaki taksatı dikkate alacaktır.

Bir kaynağın kalite düzeyi yaygın olarak gecikme, seğirme ve kayıp olasılığı ile ölçülmektedir. Gecikme, verinin şebekedeki, kaynaktan varış noktasına kadar olan hareketinin ne kadar uzun sürdüğü ile belirtilir. Seğirme ise gecikmedeki değişimle gösterilmektedir. Sesli ve görüntülü uygulamalar gecikme ve seğirmeye karşı oldukça hassas olmasına rağmen veri hizmetleri ikisine karşı da duyarsızdır (Ragsdale vd., 2000). Sesli bir görüşmede seğirme, kullanıcı tarafından bir kelimenin ortasında biçimsiz duruşlar şeklinde algılanır. Paket kaybı (kayıp olasılığı), şebekede verinin kaybolması veya geri kazanılamayacak şekilde hasar görmesidir ve genellikle verilerin çarpışmasından ve arabelleğin taşmasından kaynaklanır. Ayrıca, seğirmedeki ani değişimler de paket kaybına neden olabilir. Genelde, bir paket kaybolduğunda alıcının iki seçeneği vardır: (1) kaybolan veriyi yok sayabilir ya da (2) gönderene (vericiye) yeniden iletme isteği gönderebilir. Kaybolan verileri yok sayma, gerçek zamanlı (sabit zamanlı) uygulamalar için uygundur, çünkü video konferans gibi gerçek zamanlı işler az sayıda paket kayıplarına karşı duyarsızdır. Sabit boyutlu olarak tabir edilen tüm veri uygulamaları ise ikinci harekete ihtiyaç duyar. Örneğin, bir dosya transferi tüm verinin gönderilmesini gerektirir.

Veri şebekelerini kullanan firma açısından modellenen ve kaynak kiralama maliyeti ile fırsat maliyeti arasındaki değiş tokuşu dikkate alan bu maliyet en küçültme problemi, problemin büyük boyutlu karma tamsayılı bir problem olması nedeniyle bilinen algoritmalarla çözülememekte, optimal çözümü bulunamamaktadır. Bu neden-

le, problem Bender'in Genel Ayrıştırma (GBD) yöntemiyle gevşetilerek çözülebilir alt problemlere ayrılmış ve sezgisel olarak çözülmüştür. Geliştirilen sezgisel yöntem Kasap (2004) ve Kasap ve diğerleri (2007)'nin çalışmalarında ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, başlangıç zamanı " $t_0$ " anında hazır bulunan işler kiralanabilecek kapasitelere kaynakların hizmet kalite düzeyleri, bant genişlikleri ve sözleşmenin bitiş tarihi kısıtları altında atanacaktır. Atanan işlerin başlangıç zamanları ve iletim hızları ise geliştirilen sezgisel yöntem ile bulunarak optimizasyon problemi çözülecektir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde araştırma ile ilgili olarak gerçekleştirilen literatür çalışması yer almaktadır. Üçüncü bölümde ise yapılan varsayımlar doğrultusunda kurulan modele yer verilmektedir. Dördüncü bölümde meta sezgisel yöntemlerin yardımı ile işlerin kaynaklara nasıl atandığı anlatılmaktadır. Beşinci bölümde kaynaklara atanmış işlerin iletim oranları ( $r_{ij}$ ), başlangıç zamanı ( $t_{ij}$ ) ve işin atandığı kaynaktan her hangi bir " $t$ " anında aktif olup olmama durumu ( $y_{ijt}$ ) geliştirilen sezgisel bir yöntemle bulunmaktadır. Son bölüm olan altıncı bölüm ise sonuçları ve gelecekte gerçekleştirilebilecek çalışmaların tartışıldığı bölümdür.

### **Literatür çalışması**

Hizmet kalite düzeyi literatürü iki grupta ele alınabilir. İlk gruptaki çalışmalar network altyapısının tasarımını ve uygulanmasını ele almakta ve hizmet kalite düzeyi sorunlarını içeren işletim politikalarını incelemektedir. Bu doğrultudaki araştırmalarda asıl ilgi alanı taahhüt edilen kalite düzeyinin bant genişliği tahsisi, arabellek yönetimi ve çizelgeleme süresince (boyunca) teminidir (Ragsdale vd., 2000; Carpenter ve Nichols, 2002).

İkinci grup literatür çalışmaları ise tedarikçilerin fiyatlandırma ve hizmet kalite düzeyi gibi stratejik sorunlarını ele almaktadır. Literatürde çeşitli fiyat yapıları üzerinde çalışılmıştır ve bunları ele aldığımızda; farklı isim ve bağlamlarda olmasına rağmen; farklı araştırmalarda aynı konulardan bahsedilmektedir. Bu fiyatlandırma stratejilerinden bazıları, Paris metro fiyatlan-

dırması (gün içindeki saatler bazında fiyatlandırma modeline benzer), önceliğe göre fiyatlandırma (Gupta vd., 1997), akıllı pazar fiyatlandırması, üst yüzde fiyatlandırması (Levy vd., 2006), sınır fiyatlandırması, beklenen kapasite fiyatlandırması, hassas fiyatlandırma (responsive pricing) ve orantılı uygunluk fiyatlandırmasıdır. Bu fiyatlandırma modellerinin bazıları kullanım temelli bazıları ise hacim temelli stratejilerdir. Fakat bunlardan üçü veya bunların değişik birleşimleri, özellikle ISP açısından internette daha çok kullanılmaktadır.

Trafik tıkanıklıklarını ve kıt kaynakları kontrol etmek için, tüketiciler birçok farklı faturalandırma senaryosu sunan farklı servisleri tercih etmektedir. Hacme bağlı fiyatlar, geçmişte bazı tedarikçiler tarafından kullanılmaktaydı. Hacme bağlı fiyatlandırmada, tüketiciler internette indirdiklerinin hacmine göre fiyatlandırılıyorlardı. Fakat bazı kaynaklara göre bu fiyatlandırma modeli popülaritesini son yıllarda kaybetmektedir. Hacme bağlı stratejiler, tüketicinin ilgisini azaltmakta ve bu fiyatlandırmanın kontrolünü karışık bulanların kullanımını azaltmaktadır ve bunlar tüketicileri korkutmaktadır (Stiller ve Reichl, 2001). Bu gerçeğe rağmen; bazı araştırmacılar; operatörler için hacme bağlı fiyatlandırmanın en büyük avantajının tüketicinin internetteki hareketlerin maliyetini takip edememesinden kaynaklanan risk ve belirsizlik olduğunu söylemektedir (Biggs ve Kelly, 2006).

Birçok araştırma, geniş bandın (broadband) büyümesi ve gelişmesinin operatörlerin geniş bant fiyatlandırma stratejilerinden etkilenmesinden bahsetmektedir. Geniş bant bağlantıları; kullanım sınırlarında eşik değeri oluştuğunda sabit fiyat bazında fiyatlandırılmaktadır ve bu zamandan çok veri temelli bir fiyatlandırmadır. Geniş bant paketleri genelde ücretsizdir. Bireyler, maksimum hacimde bilgiyi bir ay içinde istedikleri kadar internette indirebilir ya da internete yükleyebilirler (Masuda ve Whang, 2006; Levy vd., 2006; Stiller ve Reichl, 2001). Birçok kaynak, sabit fiyat stratejisinin kullanıcılar için en verimli metot olduğunu savunmaktadır.

Operatörler tarafından uygulanan bir başka geniş bant fiyatlandırma stratejisi, zaman başına

ödeme (pay-per-time) olarak adlandırılan zaman temelli fiyatlandırma stratejisidir. Bu stratejide, tüketiciler çevrimiçi olarak harcadıkları zaman üzerinden faturalandırılmaktadırlar. Farklı hızlarla hizmet veren çok farklı servis türleri bulunmaktadır (Altman vd., 1999; Biggs ve Kelly, 2006; Jain ve Kanan, 2002).

Tedarikçiler genelde, az kapasite talebinde olan çok sayıda müşteriyi her zaman daha yüksek kapasite talebinde olan az sayıda müşteriye tercih etmektedirler. Müşteriler daha çok kapasite talep ettikleri zaman, ağlarda tıkanıklık artmakta ve tedarikçiler QoS seviyelerini korumakta sıkıntı çekmektedirler. Ayrıca; az kapasite talebi olan yüksek sayıda müşteri bulunduran bir müşteri havuzu, ağ kullanımını daha düzenli bir hale getirmektedir. Bundan dolayı, tedarikçiler her zaman az talepli büyük bir müşteri havuzunu, yüksek talepleri olan küçük bir müşteri havuzuna tercih etmektedirler. Courcoubetis ve diğerleri (2000a); kademeli fiyatlandırmasının müşterilerin daha fazla ödemekten sakınmak için taleplerini düşüreceklerini, dolayısı ile kademeli fiyatlandırmasının oluşan aşırı trafiği azaltmaya yardımcı olacağını ileri sürmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada literatürdeki fiyatlandırma stratejileri içerisinde Courcoubetis ve diğerleri (2000a)'nin önerdiği kademeli fiyatlandırma politikası dikkate alınmıştır.

### **Tedarikçi seçim modeli**

Bu bölümde, hizmet kalite düzeyi ve kapasite kısıtları altındaki maliyet en azlama problemi formüle edilmiştir. Problemi modellerken Courcoubetis ve diğerlerinin (2000a) önerdiği her bir tedarikçinin doğru parçalarından oluşan dışbükey doğrusal amaç fonksiyonuna sahip olduğu kademeli fiyatlandırma politikası dikkate alınmıştır. Problemi basitleştirmek amacıyla, kaynağın hazır ve piyasa mevcut bulunduğu süreçte, kapasite için bir üst limit bulunmadığı ve kapasitenin limitsiz olduğu varsayılmıştır. Bu fiyatlandırma yapısına bağlı olarak, müşterilerin ne kadar kapasite tedarik etmek istediklerine ve işlerinin dağılımını nasıl yapmaları gerektiğine karar vermeleri gerekmektedir. Modeli daha kolay çalışır hale getirmek için bitiş tarihlerindeki kısıtlamalar rahatlatılmış ve tüm görev ve kay-

nakların sıfır anında ( $E_i=0$ ) hazır olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, gerçek zamanlı uygulamaların, istenilen bir aktarma hızları olduğu ve oluşabilecek sapmaların müşteriye bir fırsat maliyeti yaratabileceği varsayılmıştır. Aslında Kasap ve diğerleri (2007)'nin fiyatlandırma stratejisine dayanan ve kalite maliyetini, kapasite maliyetiyle takas eden nesnel fonksiyonuyla aynıdır fakat bu problemdeki kapasitenin maliyet yapısı çok daha farklıdır.

## Görevlerin, kaynakların ve QoS

### gereksinimlerinin tanımı

Genel olarak, işlerin ve ilgili hizmet niteliği gereklerinin ayrıntılı bir dökümünü vermek de mümkün, ancak modelleme açısından iki-iş türü sınıflaması bizim için yeterli olacaktır. Boyutu, işin tamamlanmasına engel olmayacak şekilde değiştirilebilen bir hizmet, sabit-zamanlı (gerçek-zamanlı, sıkıştırılabilir-boyutlu) olarak sınıflandırılır ve aktarım süresi sıkıştırılamaz ve genişletilemez. Ses ve görüntü uygulamalarının birçoğu sabit-zamanlıdır. Aktarımında meydana gelecek bir gecikmeden etkilenmiyorsa ve verinin tamamının aktarılması (ağ üzerinde taşınması) gerekiyorsa, ama aktarım süresi sabit değilse, söz konusu iş, sabit-boyutlu (sıkıştırılabilir-zamanlı) olarak sınıflandırılır. Dosya aktarımı, veritabanı işlemleri gibi pek çok veri uygulaması bu kategoriye girer. İşlerin ve ilgili hizmet niteliği gereklerinin daha ayrıntılı bir dökümünü vermek mümkünse de, bu aşamada iki-iş türü sınıflaması bizim için yeterli olacak ve gerçek uygulamaların genel bir yansımalarını sunacaktır. Oluşturacağımız model doğrultusunda, bir işin ya sabit-zamanlı ya da sabit-boyutlu olabileceği, her ikisine birden uymasının mümkün olmadığı düşünülmüştür.

Bir kaynak; bant genişliği, süresi ve kalitesi ile tanımlanır. Belli bir kaynağın işin gerektirdiği hizmet niteliği düzeyini karşılaması ya da bu düzeyi aşması durumunda o işin gerçekleştirilmesi için kullanılabileceği varsayılmıştır.

Kaynak kalitesinin genel ölçümleri gecikme, seğirme ve kayıp olasılığıdır. Gecikme, verinin ağ üzerinde kaynaktan hedef noktaya gidene kadar geçen zamanı belirtir (Ragsdale vd., 2000). Seğirme, gecikmedeki değişimi gösterir.

Ses ve video uygulamaları gecikme ve seğirmeye karşı çok hassastırlar, veri uygulamaları ise her ikisine karşı hassas değildirler. Ses uygulamalarında seğirme, kullanıcılara konuşma esnasında biçimsiz kopukluklar olarak belirir. Paket kaybı, ağ üzerinde kaybolan (düşen) ya da tazmin edilemeyecek zarar gören veriyi gösterir. Genellikle, veri çarpışması ve arabellek taşması şeklinde gözükür. Seğirmedeki ani değişiklikler de paket kaybına sebep olabilir (Reichl vd, 2003).

Değişik hizmet niteliği parametrelerinin etkilerini modele değişik şekillerde yansıtıyoruz. Paket kaybı, uygun bant genişliğini (etkin bant genişliği) düşürür. Bu durum, sabit-boyutlu işlerde aktarım hızının değişmemesi durumunda, sürenin artmasına neden olacaktır. Sabit-zamanlı işlerde ise alıcı noktasında gerçekleşen aktarım hızında bir düşüş meydana gelecektir, bu da kaliteyi düşürerek muhtemelen bir fırsat maliyeti yaratacaktır. Gecikme ve seğirme, öncelikle kategori olarak modellenmektedir. Genel olarak, bir kontratta bir kaynağın garantili minimum gecikme ve seğirme ölçütlerinin de saptanmış olduğu varsayılmış ve bu saptamalar kategorilere dönüştürülmüştür.

Modelde amaç işlevi iki tür maliyetten oluşmaktadır. İlk maliyet türü tedarikçilerin farklı fiyatlandırma planlarını yansıtan kiralama maliyetidir. İkincisi ise, son teslim tarihlerinin kaçırılması veya vadelerin geçirilmesi, kalitenin düşmesinden kaynaklanan maliyetler (ki bunlar gerçek zamanlı duraksız uygulamalar açısından daha önemli) ve karar merci bilinçli olarak hizmet niteliği düzeyini düşürdüğünde veya başka bir tedarikçiye yöneldiğinde meydana gelen hizmet niteliği değişim maliyeti gibi olası fırsat maliyetleridir.

## Problemin notasyonu

Parametreler;

- $I, J$  : Kaynakların ve kaynaklara atanacak işlerin numara kümesi  
 $A_T, A_S$  :Sabit zamanlı ve sabit boyutlu işlerin indeks kümesi,  $A_T \cap A_S = \emptyset$   
 $q_j$  : j. İşin müsamaha gösterilebileceği minimum kalite düzeyi,  $q_j = q(\delta_j, \sigma_j)$

- $\delta_j$  : Gecikme, verinin şebekeden gideceği yere ulaşmasının ne kadar süreceğini belirtir.
- $\sigma_j$  : Seçirme, gecikmedeki varyansı belirtir
- $Q_j$  : Kaynak  $i$  için tedarikçinin garanti ettiği kalite düzeyi,  $Q_j = Q(\delta_j, \sigma_j)$
- $\alpha_i$  : İletim etkinliği, 1'den kayıp paket oranının çıkartılması ile elde edilir.
- $\beta_i, L_i$  : Kaynak  $i$ 'nin bant genişliği ve ömrü (süresi)
- $L_i$  : sözleşme süresi ile planlama dönemi ikilisinin düşük olan değeri
- $c_i$  : Belirli bir  $\beta_i$  ve  $L_i$ 'deki kaynak  $i$ 'nin toplam maliyeti
- $c_j^o$  : İş  $j$  için hedeflenen iletim oranına ulaşmaktan kaynaklanan fırsat maliyeti
- $r_j^U, r_j^L$  : Alıcı noktalarında İş  $j$  için hedeflenen ve minimum iletim oranları
- $\Delta t_j$  : Sabit zamanlı işler için beklenen iletim süresi,  $j \in A_T$
- $j$  : Sabit boyutlu işin bit cinsinden boyutu,  $j \in A_S$

Karar değişkenleri;

- $v_j$  : Kaynak  $i$  kiralanırsa 1 değerini alır, kiralanmazsa 0 değerini alır
- $r_j$  : İş  $j$ 'in iletim oranı
- $y_{ij}$  : Eğer iş  $j$ , kaynak  $i$ 'a atandıysa 1 değerini alır, atanmadıysa 0 değerini alır
- $y_{ijt}$  : Kaynak  $i$ 'daki iş  $j$ ,  $t$  anında iletiliyorsa 1 değerini alır, aksi halde 0 değerini alır
- $t_j$  : İş  $j$ 'in başlangıç zamanı
- $x_j$  : Sabit zamanlı iş  $j$ 'in bit cinsinden boyutu,  $j \in A_T$

### Kademeli fiyatlandırma metodu

Tedarikçinin ( $i$ ), kapasiteyi ( $S_i$ ) kademeli fiyatlandırma yapısına göre sattığını varsaymaktayız (Şekil 1). Kademeli fiyatlandırma metodunda; kapasite birim maliyeti; iş büyüdükçe maliyetlerin artmasından dolayı eğimin  $c_{i1}$ 'den,  $\bar{S}_i$ 'de  $c_{i2}$ 'ye çıktığı fonksiyondur. Bu tarz bir maliyet fonksiyonu tek bir tedarikçiden yüksek kapasite talebini azaltır. Toplam maliyet, aşağıda da gösterildiği gibi elde edinilmiş kapasitenin fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

$$z_i = \begin{cases} c_{i1}S_i & \text{when } S_i \leq \bar{S}_i \\ c_{i2}(S_i - \bar{S}_i) + c_{i1}\bar{S}_i & \text{when } S_i > \bar{S}_i \end{cases} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklem (1), doğru parçalarından oluşan dışbükey fonksiyondur ve iki farklı birim fiyat ( $c_{i1} < c_{i2}$ ) olduğu varsayılmıştır.

### Problemin (P1) formülasyonu ve kademeli fiyatlandırması ile GBD uygulaması

$$(P1) \text{ Min } \sum_{i \in I} z_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in A_T} (\bar{r}_j^U - r_j \alpha_i) c_j^o y_{ij}$$

Kısıtlar altında

$$\sum_{k \in A_s} \bar{x}_k y_{ik} + \sum_{j \in A_T} \alpha_i \Delta t_j r_j y_{ij} \leq \alpha_i S_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$z_i \geq c_{i1} S_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$z_i \geq c_{i2} (S_i - \bar{S}_i) + c_{i1} \bar{S}_i \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$r_j \alpha_i y_{ij} \leq \bar{r}_j^U \quad \forall j \in A_T, \forall i \in I \quad (5)$$

$$r_j \alpha_i \geq y_{ij} \bar{r}_j^L \quad \forall j \in A_T, \forall i \in I \quad (6)$$

$$q_j \geq Q_i y_{ij} \quad \forall j \in J, \forall i \in I$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = 1, \quad \forall j \in J$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\}, \quad z_i, S_i, r_j \geq 0, \quad \forall i \in I, \forall j \in J$$

P1'de,  $S_i$  kaynak  $i$ 'nin tedarik edilmiş kapasitesi ve  $z_i$  de bu alımın toplam maliyetidir. Toplam maliyet, (3) ve (4) denklemleri ile kısıtlandırılmıştır. (3) veya (4) denklemleri, kapasite ( $S_i$ ) seçimine bağlı olan bağlayıcı kısıtlamalardır. Bütün kaynakların kapasiteleri aynı olduğu düşünülürse problem Bidon Doldurma Problemine (BDP) (Bin Packing Problem – BPP) benzer. Kapasite miktarları farklı olduğu için P1, BDP den daha karmaşıktır ve P1 de BDP gibi NP-Zor bir problemdir.

$u_i, a_i, b_i, \omega_{ij}, \psi_{ij}$   $i \in I, j \in A_T$  'yi sırasıyla limiti olan (2), (3), (4), (5) ve (6)'ya bağlı ikili değişkenler olarak kabul edersek, sonrasında, GBD'nin RMP'si için herhangi bir iterasyonda ki ikili çözümlü  $\bar{u}_i, \bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{\omega}_{ij}, \bar{\psi}_{ij}$  değerleri için,



verilen sabit  $\bar{y}_{ij}$  değeri  $Max y_0$  olarak yazılabilir (Erengüç vd., 1993).

$Max y_0$  kısıtlar altında;

$$y_0 \leq \text{Max}_{r_j, z_i, S_i} \left\{ \begin{aligned} & -\sum_{i \in I} z_i - \sum_{i \in I} \sum_{j \in A_j} \bar{r}_j^U c_j^o \bar{y}_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in A_j} r_j \alpha_i c_j^o \bar{y}_{ij} \\ & + \sum_{i \in I} \bar{u}_i \left[ -\sum_{k \in A_i} \bar{x}_k \bar{y}_{ik} - \sum_{j \in A_j} \alpha_i \Delta t_j r_j \bar{y}_{ij} + \alpha_i S_i \right] \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{j \in A_j} \bar{w}_j \left[ \bar{r}_j^U - r_j \bar{y}_{ij} \alpha_i \right] - \sum_{i \in I} \sum_{j \in A_j} \bar{w}_j \left[ \bar{r}_j^L \bar{y}_{ij} - r_j \alpha_i \right] \\ & + \sum_{i \in I} \bar{a}_i (z_i - c_{i1} S_i) + \sum_{i \in I} \bar{b}_i (z_i - c_{i2} (S_i - \bar{S}_i) - c_{i1} \bar{S}_i) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(7) eşitsizliğindeki bazı terimlerin  $r_j$ 'den bağımsız olduğunu göz önünde bulundurursak, (7)'yi tekrar şu şekilde yazabiliriz:

$$y_0 \leq \left\{ \begin{aligned} & \sum_{i \in I} \left[ -\sum_{j \in A_j} \bar{r}_j^U c_j^o y_{ij} - \bar{u}_i \sum_{k \in A_i} \bar{x}_k y_{ik} + \sum_{j \in A_j} \bar{w}_j \bar{r}_j^U \right] \\ & - \sum_{j \in A_j} \bar{w}_j y_{ij} \bar{r}_j^L + \bar{b}_i \bar{S}_i (c_{i2} - c_{i1}) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$+ \text{Max}_{z_i, S_i} \left\{ \sum_{i \in I} z_i (\bar{a}_i + \bar{b}_i - 1) + \sum_{i \in I} S_i (\bar{u}_i \alpha_i - \bar{a}_i c_{i1} - \bar{b}_i c_{i2}) \right\}$$

$$+ \text{Max}_{r_j} \left\{ \sum_{j \in A_j} r_j \sum_{i \in I} \alpha_i \left[ y_{ij} (c_j^o - \Delta t_j \bar{u}_i - \bar{w}_j) + \bar{w}_j \right] \right\}$$

$S_i$  ve  $z_i$ , (2), (3) ve (4)'te de verildiği gibi  $r_j$ 'ye bağlıdır fakat;  $r_j$  diğer tüm değişkenlerden bağımsız olarak tanımlanabilir.  $r_j$  ve  $y_{ij}$ 'nin verilmesiyle;  $S_i$ ,  $r_j$ 'yi mümkün kılan minimum alt sınır ve  $z_i$  de bunu yapan ilgili maliyettir. Eğer (8)'deki bazı  $i$ 'ler için  $(\bar{u}_i \alpha_i - \bar{a}_i c_{i1} - \bar{b}_i c_{i2}) \geq 0$  ise,  $S_i$ 'nin üst limiti olmamasından dolayı ve (8)'de maksimizasyon yaptığımız sürece  $S_i \rightarrow \infty$ 'dur. Her zaman alınabilir sınırlı bir kapasite olduğunu ve sadece sınırlı tek bir çözüm olduğunu bildiğimiz için, problem açısından bunun çok bir anlamı olmamaktadır.  $(\bar{a}_i + \bar{b}_i - 1)$  ve  $(\bar{u}_i \alpha_i - \bar{a}_i c_{i1} - \bar{b}_i c_{i2})$  terimlerinin ikisi de negatif veya sıfır olduğu sürece, bir önceki çözümde bulunan  $S_i$  ve  $z_i$  değerlerini kullanmamız mümkündür çünkü uygun olan en düşük mümkün değerler olan  $S_i$  ve  $z_i$  değerleri  $\sum_{i \in I} z_i (\bar{a}_i + \bar{b}_i - 1) + \sum_{i \in I} S_i (\bar{u}_i \alpha_i - \bar{a}_i c_{i1} - \bar{b}_i c_{i2})$ 'yi maksimize etmektedirler. Bu bağlamda Kasap ve diğerleri (2007)'nin çalışmalarında açıkladıkları

Teorem 1  $r_j$  değerlerini hesaplamak için geçerlidir. Bir önceki problemde alınan  $S_i$  ve  $z_i$  değerlerinin sadece tahmini değerler olduğunu göz önünde bulundurmak gerekmektedir. İterasyon  $t$ 'nin SUB'ını Kasap ve diğerleri (2007)'nin sezgisel metot (heuristik) A'nın adım 3'ündeki gibi çözdükten ve  $t+1$ 'st kesimini yaratırken,  $t$ 'th kesimindeki  $S_i$  ve  $z_i$  değerlerini tekrar güncelledikten sonra; iterasyon  $t$ 'nin  $S_i$  ve  $z_i$  değerleri de güncellenebilir. Bu yüzden, kesimin doğru formdaki kesimi sonraki iterasyonda yaratılabilir. Bu yöntemi uygulamak analizlerde hiçbir uyum sorununa yol açmamıştır fakat bu kesimin geçerliliğinin kanıtlanması gelecek araştırmalara bırakılmıştır.

## P1'in özel durumu

### Görev bölümü

Şimdiye kadar, her görevin tek bir kaynağa bağlı olduğu varsayılmıştır. Doğru ayarlamalar yapıldığında, görev bölümünü yapmak ve bunu çoklu ağlardan sunmak aslında mümkün olacaktır. Bu formülasyon problemi büyük ölçüde basitleştirmektedir. Bundan dolayı, problemi aşağıda görüldüğü gibi formüleştirebiliriz.

$$(P2) \text{ Min } \sum_{i \in I} z_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in A_j} (\bar{x}_j^U - x_j \alpha_i) \bar{c}_j^o y_{ij}$$

Kısıtlar altında

$$\sum_{j \in A_j} \bar{x}_j y_{ij} + \sum_{j \in A_j} \alpha_i x_j y_{ij} \leq \alpha_i S_i \quad \forall i \in I$$

$$z_i \geq c_{i1} S_i \quad \forall i \in I$$

$$z_i \geq c_{i2} (S_i - \bar{S}_i) + c_{i1} \bar{S}_i \quad \forall i \in I$$

$$q_j \geq Q_i y_{ij} \quad \forall j \in J, \forall i \in I$$

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = 1, \quad \forall j \in J$$

$$\bar{x}_j^L \leq x_j, \quad j \in J$$

$$z_i, S_i \geq 0, \quad \forall i \in I$$

$$0 \leq y_{ij} \leq 1$$

Bu denklemlerde  $\bar{x}_j^U = \bar{r}_j^U \Delta t_j$ ,  $\bar{x}_j^L = \bar{r}_j^L \Delta t_j$ ,  $y_{ij}$ ;  $j$  işinin bidon (bin)  $i$ 'ye atanmış olan kısmını temsil etmektedir.  $x_j$  ise iletilmiş veri miktarıdır ve şu şekilde gösterilir:  $\bar{c}_j^o = \frac{c_j^o}{\Delta t_j}$  Yukarıda yer

alan formülasyonun Kasap vd'nin (2007) çalışmasındaki P2'sine benzer olduğu açıkça görülmektedir. Mevcut kaynakta kullanılan kapasite miktarı  $S_i$ , P2'deki  $\beta_i L_i$ 'ye eşittir. Bu kaynağı elde etme maliyeti  $z_i$  aşağıdaki denkleme eşittir ve bu eşitlikte  $k=1$  veya  $2$ 'dir.

$$\sum_{j \in A_s} \bar{x}_j y_{ij} + \sum_{j \in A_T} \alpha_i x_j y_{ij} = \alpha_i S_i \quad \text{ve} \quad \frac{c_i^\beta}{\beta_i L_i} = c_{ik} \quad \text{olduğu sürece;}$$

$$\text{P2'de} \quad z_i = c_i^\beta \frac{\sum_{j \in A_s} \bar{x}_j y_{ij} + \sum_{j \in A_T} \alpha_i x_j y_{ij}}{\alpha_i \beta_i L_i}$$

P2'i çözmeye, Kasap ve diğerleri (2007)'ndeki A1 algoritmasını geliştirilebilir ve kullanılabilir.

Verileri atarken, görevlerin bölüdüğü her seferde,  $C_{12}$ 'yi verilen kaynağın birim maliyeti olarak belirlememiş olmak ve bu kaynakları birim maliyetlerine göre artan şekilde yeniden düzenlemek ve görev atamalarını yeniden düzenlenmiş kaynaklarla dağıtmaya devam etmek gerekmektedir. Parçalama sırasında, kaynakların görev dağıtımının toplam büyüklüğü  $\bar{S}_i$ 'yi geçerse, toplam büyüklüğü  $\bar{S}_i$ 'den küçük olana kadar parçalama devam etmektedir. Bu noktada,  $c_{il}$ 'yi bu kaynak için birim maliyet olarak belirlemek ve birim maliyetlerine göre artan şekilde tekrar sıralamak ve görevlerin büyüklüğünü tekrardan düzenlenmiş kaynaklara bağlı olarak azaltmaya devam etmek gerekmektedir.

P1'in çözüm kalitesiyle ilgili fikir sahibi olmak için, P1 için bir rahatlatma sağladığı için P2'deki en alt sınırı kullanıyoruz.

### Hesaplama tecrübesi

Gerçekleştirilen deneysel çalışma için, Kasap ve diğerleri (2007)'nde kullanılan veri kümesi kul-

lanılmış ve elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırma yapılmıştır (Karşılaştırma için Kasap ve diğerleri (2007)'ndeki probleme P3 denilmiştir). Literatürde tedarikçilerin kapasite tahsisi ve maliyet problemlerini çözmek için çok sayıda sezgisel yöntem ve bunlar için veri kümeleri mevcuttur. Bu çalışmada ise ele alınan problem, tedarikçinin değil müşterilerin minimum maliyetli kapasite kiralama problemidir. Yapılan literatür taramasında konuyu bu yönüyle ele alan çalışma bulunamamıştır. Dolayısıyla sonuçlar sadece Kasap ve diğerleri (2007)'nin çalışmasıyla karşılaştırılmıştır. Bu deneysel çalışmanın iki amacı bulunmaktadır. İlk amacı, P1'in çalışma süresini (running time) test edip ve GBD'nin kademeli fiyatlandırma metoduyla ne kadar hızlı çalışıyor olduğunu saptamaktır. İkinci amacı ise, sonuçları P2 ile karşılaştırarak P1'in çözümünün kalitesini ölçmektir.

Her kaynağın kapasitesinin sabit olmamasına rağmen, P1 hala Bidon Doldurma Problemine benzerlik göstermektedir. Bu problem için yakınsama hızı hala yavaştır. GBD'de kullanılan aynı veri setindeki ortalama çalışma sürelerinde P1'in P3'e oranı 0.38'den azdır. P1'deki problem örneklerinde; P3'teki aynı büyüklükteki problem örneklerine kıyasla, çalışma hızında önemli artışlar olduğu Tablo 1'de de açıkça görülmektedir. P1'deki çalışma süresi P3'teki bazı problemlerde büyük olmasına rağmen, u aradaki fark önemsizdir. P1'in çözümünün kalitesini ölçmek için, sonuçlarının P2'yi çözerken elde edilen alt limit sınırlarıyla kıyaslanmıştır. 260 örnek problem test edilmiş ve P1'in çözümündeki alt limitin ortalama oranı 1.003012 olarak belirlenmiştir.

260 problem örneğinden 155'i uygun bir şekilde Cplex'le çözülmüştür. Bazı örnek problemlerin karşılaştırmaları Tablo 2'de verilmektedir. P1 dokümanındaki üç sütun; üst sınır, alt sınır ve GBD'nin hesaplama zamanıdır.  $Z_{p2}$  sütunu P2'nin çözümünü ve yanındaki iki sütun da farkları ve oranlarını göstermektedir.

Örneklerin genelinde problemlerin boyutları küçük olduğundan; P1'in çözümü, P2'nin çözü-

müne eşit ya da çok yakındır. Oluşan farklar sadece tek bir kaynağa bağlı görev yüzünden oluşmaktadır. Bu kaynağa bağlı görevde çözüm yöntemi atanmış son görevin  $\bar{S}_i$ 'den daha çok kapasite kullanıp kullanmadığına karar verilmesi gerekmektedir.

P2'nin hesaplanmasında görevlerin bölümüne izin verilmekte fakat P1'de izin verilmemektedir. Bunun sonucunda ya fazladan bir maliyete ( $c_{i2}$ ) tabi kalmakta ya da bu görev, aynı sonucu farklı bir görev için yaratan farklı bir kaynağa atanmaktadır. Problemin büyüklüğü arttıkça, görev bölünmesi (task splitting) artmakta ve buna bağlı olarak P1 ve P2'nin sonuçları arasındaki farklılık artabilmektedir.

Tablo 1. P3 ve P1'deki GBD'nin çalışma süreleri karşılaştırması

Dosya adı	Çalışma süresi (sn)		
	T <sub>P1</sub>	T <sub>P3</sub>	T <sub>P1</sub> / T <sub>P3</sub>
nB4_nJpB7_nTJ21.txt	1.593	1894.33	0.000841
nB5_nJpB3_nTJ12.txt	4.583	124.731	0.03674
nB5_nJpB6_nTJ24.txt	2.010	964.545	0.002084
nB5_nJpB8_nTJ32.txt	214.936	>900	<0.238818
nB6_nJpB3_nTJ12.txt	18.979	727.95	0.026071
nB6_nJpB6_nTJ30.txt	14.937	>1200	<0.012448
nB7_nJpB5_nTJ25.txt	531.101	>1200	<0.4426
nB7_nJpB8_nTJ40.txt	33.354	>1200	<0.0278
nB7_nJpB9_nTJ27.txt	258.291	>1200	<0.2153
NB8_nJpB5_nTJ25.txt	614.43	>1200	<0.5120
NB8_nJpB8_nTJ24.txt	7.844	>1500	<0.005

Tablo 2. Kademeli fiyatlandırma metodu için GBD ve alt sınır (Lower Bound – LB) çalışmalarının çözüm karşılaştırmaları

Dosya Adı	P1		Çalışma süresi	Z <sub>P2</sub>	Z <sub>P1</sub> – Z <sub>P2</sub>	Z <sub>P1</sub> / Z <sub>P2</sub>
	Alt limit	Üst limit				
nB4_nJpB4_nTJ8	613.146	618.165	2.297	617.638	0.0527	1.000.853
nB4_nJpB8_nTJ16	485.461	489.631	2.766	488.199	0.1432	1.002.933
nB5_nJpB3_nTJ12	814.477	817.233	6.874	796.893	2.034	1.025.524
nB5_nJpB8_nTJ16	629.558	63.577	42.281	635.714	0.0056	1.000.088
nB6_nJpB2_nTJ10	115.321	116.317	41.512	115.898	0.419	1.003.615
nB6_nJpB2_nTJ6	990.299	997.118	0.86	958.681	38.437	1.040.094
nB6_nJpB3_nTJ12	896.828	905.813	28.468	895.774	10.039	1.011.207
nB6_nJpB3_nTJ15	110.617	111.694	20.389	109.237	2.457	1.022.492
nB7_nJpB3_nTJ9	939.727	944.222	6.578	900.573	43.649	1.048.468
nB7_nJpB7_nTJ21	618.673	624.362	4.172	624.304	0.0058	1.000.093
nB8_nJpB2_nTJ12	146.379	147.804	11.718	147.62	0.184	1.001.246
nB8_nJpB2_nTJ8	806.819	807.936	2.812	806.514	0.1422	1.001.763
nB8_nJpB3_nTJ18	927.146	935.879	28.046	93.421	0.1669	1.001.787
nB8_nJpB4_nTJ16	953.594	963.135	95.906	963.132	0.0003	1.000.003
nB9_nJpB10_nTJ20	576.175	581.824	56.786	581.823	0.0001	1.000.002
nB10_nJpB2_nTJ8	970.671	980.277	10.968	977.347	0.293	1.002.998
nB10_nJpB7_nTJ14	528.047	532.988	2.125	532.855	0.0133	100.025
nB4_nJpB9_nTJ27	798.857	867.727	920.191	864.736	0.2991	1.003.459
nB5_nJpB10_nTJ40	110.61	117.615	914.013	117.397	0.218	1.001.857
nB5_nJpB5_nTJ20	980.389	100.719	911.06	995.541	11.649	1.011.701
nB5_nJpB7_nTJ28	113.007	121.533	947.659	121.225	0.308	1.002.541
nB5_nJpB9_nTJ36	106.754	110.829	955.056	109.726	1.103	1.010.052
nB6_nJpB4_nTJ20	123.889	132.036	910.448	124	8.036	1.064.806
<b>Ortalama</b>				<b>43.649</b>	<b>1.009.613</b>	

## Özet ve sonuçlar

Önerilen sezgisel yöntem GBD kademeli fiyatlandırma metoduyla, Kasap ve diğerleri (2007)'nin önerdiği fiyatlandırma metoduna göre daha hızlı çalışmaktadır. Olgunlaşmadan durdurulsa bile çok iyi sonuçlar vermektedir. Daha gerçekçi bir kademeli fiyatlandırma metodu, bant genişliği ve kaynakların süresini karar değişkenleri olarak göz önünde bulundurularak elde edilebilir. Bu gerçekçi kademeli fiyatlandırma formülasyonu gelecek araştırma konusu olarak değerlendirilecektir ve P1 arasındaki başlıca fark; P1'deki  $S_i$  değişkeninin  $\beta_i L_i$  değişkenleriyle değiştirilmesi ve alım maliyetinin bu iki değişkene  $\beta_i$ , ve  $L_i$ 'nin her ikisine de bağlı olmasıdır. Verilen kapasite için  $\beta_i, L_i$  değerlerini bulabilmemize rağmen P4'ün çözümü ehemmiyetsiz değildir. Çünkü her bir kaynağın kapasitesi için doğru miktarı, verilen  $\bar{v}_i, \bar{y}_{ij}$ 'ye göre belirlemek; bunun  $r_j$ 'ye de bağlı olmasından dolayı kolay değildir. Bu gerçekçi fiyatlandırma formülasyonu için çözüm yöntemini gelecek araştırmalara bırakıyoruz.

## Teşekkür

Bu makale, TÜBİTAK Kariyer Projesi (Proje No: 106K263) kapsamında hazırlanmıştır.

## Kaynaklar

Altman, J., Rupp, B. ve Varaiya, P., (1999). Internet demand under different pricing schemes, Teknik Rapor, National Science Foundation, Cisco Systems, SBC Communications, the California State MICRO Program and Hewlett – Packard, University of California at Berkeley.

Biggs, P. ve Kelly, T., (2006). Broadband pricing strategies, *Info*, **8**, 6, 3-14.

Carpenter, B. ve Nichols, K., (02.11.2002) Differentiated services in the internet, IBM Research Report, RZ 3395(# 93445).

Charmantzis, F.C., Courcoubetis, C., Siris, V. ve Stamoulis, G.D., (1996). Comparative study of usage-based charging schemes, *Proceedings, IEE*

Colloquium on Charging for ATM, 1-7, Londra, İngiltere.

Courcoubetis, C., Kelly, F. ve Weber, R., (2000a). Measurement-based usage charges in communications networks, *Operations Research*, **48**, 4 535-548.

Courcoubetis, C., Kelly, F., Siris, V.A. ve Weber, R., (2000b). A study of simple usage-based charging schemes for broadband networks, *Telecommunication Systems*, **15**, 323-343.

Erenguc, S.S., Tüfekci, S. ve Zappe, C.J., (1993). Solving time/cost trade-off problems with discounted cash flows using generalized benders decomposition, *Naval Research Logistics*, **40**, 25-50.

Gupta, A., Stahl, D.O. ve Whinston, A.B., (1997). *Priority pricing of the integrated services networks* in McKnight, L.W. ve Bailey J.P., eds, *Internet Economics*, 3<sup>rd</sup> edition, The MIT Press, Cambridge, MA, 323-352.

Jain, S. ve Kanan, P.K., (2002). Pricing of information products online services: issues, models, and analysis, *Management Science*, **9**, 1123-1142.

Kasap, N., Aytuğ, H. ve Erengüç, S.S., (2007). Provider selection and task allocation issues in networks with different QoS levels and all you can send pricing, *Decision Support Systems*, **43**, 375-389.

Levy, J., Levy, H. ve Kahana, Y. (2006). Top percentile network pricing and the economics of multi-homing, *Annals of Operations Research*, **146**, 153-167.

Masuda, Y. ve Whang, S., (2006). The optimality of fixed-up-to tariff for telecommunications service, *Informations Systems Research*, **17**, 3, 247-253.

Ragsdale, G.L., Lynch, G.P. ve Raschke, M.W., (Eylül 2000), The convergence of signaling system 7 and voice-over-IP, Proje Raporu (SwRI proje no. 10.03607), Southwest Research Institute.

Reichl, P., Hausheer, D. ve Stiller, B., (2003). The cumulus pricing model as an adaptive framework for feasible, efficient, and user-friendly tariffing of internet services, *Computer Networks*, **43**, 3-4.

Stiller, B. ve Reichl, P., (2001). Pricing and cost recovery for internet services: Practical review, classification, and application of relevant models, *Netnomics*, **3**, 149-171.