

## Optik Çoğuşma ve Paket Anahtarlama

### Tekniklerinin Karşılaştırılması\*

**M. Ali Aydın, Özgür Can Turna, A. Halim Zaim**

İstanbul Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Avcılar/İstanbul  
aydinali@istanbul.edu.tr, ozcantur@istanbul.edu.tr, ahzaim@istanbul.edu.tr

**Özet:** İnternetin hızlı genişlemesi ve çoklu ortam bilgisi için artan talep şiddetle mevcut bilgisayar ve telekomünikasyon ağlarımızın limitlerini zorlamaktadır. Büyüyen bant genişliği gereklilerini desteklemek için yeni yüksek kapasiteli ağlar olan optik ağlar, mevcut bilgisayar ağlarında görülen birçok problemin çözümüne olanak tanır (Bant genişliği vs. gibi) ve çok yüksek bir kapasite sağlamanın yanı sıra, çeşitli hizmetlerin desteklendiği ortak bir ağ alt yapısı da sağlar. Ayrıca optik ağlarda, bant genişliği esnek bir yapıda ihtiyaca göre ayarlanabilir. Optik ağlar üzerinde yaygın olarak iki temel anahtarlama teknik üzerinde çalışmalar yapılmaktadır; OPS(Optical Packet Switching-Optik Paket Anahtarlama) ve OBS(Optical Burst Switching-Optik Çoğuşma Anahtarlama)'dir.

Bu çalışmada simülasyon çalışması ile bu anahtarlama tekniklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Simülasyon çalışması NS2 Ağ Simülasyon platformunda, 2 durumlu MMPP trafik üretici ile 14 düğümlü çokgen ve halka topolojileri üzerinde tek bir sınıf kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Performans kriteri olarak byte düşme oranı, hizmet erişim ve uçtan uca gecikme süreleri ele alınmıştır. Çalışma sonucunda OBS; özellikle ağ yoğunluğunun yüksek olduğu zamanlarda byte düşme oranı açısından daha başarılı çıkmıştır. Diğer yandan OPS; düşük yoğunluk değerlerinde byte düşme oranları açısından daha başarılı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca OPS, düşük yoğunluklarda daha düşük hizmet erişim gecikme süreleri değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

\*Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı olarak yürütülen Optik Çoğuşma Anahtarlama Sistemlerinin Analizi başlıklı doktora tezinin bir bölümüdür.

### Giriş

Günümüzde geniş alan ağları yeni güçlüklerle karşı karşıya gelmektedir. Trafik miktarındaki önemli artış, gerçek zamanlı olan ve olmayan trafik arasındaki fark çok önemli hale gelmiştir. Bu artışı esneklik ve maliyet açısından etkili bir şekilde destekleyecek yeni çözümler gerekmektedir. Ancak, bu tahmin edilemeyen artış oranı gerekli bant genişliğinin kestirilmesini zorlaştırmaktadır. Müşteri tarafında çok yüksek hızlı bağlantıların kullanılmaya başlamasından dolayı, son kullanıcı omurga ağı (backbone network) çok daha yakın hale gelmektedir. Normalde omurga trafiği, birçok bağımsız küçük akışın istatistiksel olarak çoğullanmasının

sonucudur ve bu yüzden değişme miktarı azdır. Fakat, son kullanıcının kişisel akışlarının hızı (örneğin 10 GB Ethernet) çekirdek (core) kısımdaki veri kanalının hızına yaklaştıkça, durum köklü olarak değişebilir ve omurganın trafik profili daha değişken hale gelecektir. Bunun yanında servis kalitesi isteyen IP uygulamalarının (örneğin VoIP, isteğe bağlı video (video on demand), video konferans ve interaktif uygulamalar) ortaya çıkışıyla yeni trafik kontrol yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Optik ağlar, mevcut bilgisayar ağlarında görülen birçok problemin çözümüne olanak tanır (Bant genişliği vs. gibi) ve çok yüksek bir kapasite sağlamanın yanı sıra, çeşitli hizmetle-

rin desteklendiği ortak bir ağ alt yapısı da sağ- lar. Ayrıca optik ağlarda, bant genişliği esnek bir yapıda ihtiyaca göre ayarlanabilir [1,2]. Optik ağlarda üç temel anahtarlama tekniği bulunmaktadır. Bunlar WR(Dalgaboyu Yön- lendirme - Wavelength Routing), OPS(Optik Paket Anahtarlama - Optical Packet Switching) ve OBS(Optik Çoğuşma Anahtarlama - Optical Burst Switching)'dir.

Tam optik ağların gelişimi WR ağlar ile başla- mıştır. WR ağlarda, ağ düğümleri arasında ışık yolu (lightpath) adı verilen, uzun vadeli devre bağlantıları kurulmaktadır. WR ağların temel kısıtlaması, tipik optik iletişimde olduğu gibi fiber başına düşen dalga boyu sayısının sınırlı olmasıdır. Büyük boyutlu bir WR ağda, bu kısıtlı sayıdaki dalga boyları, tüm kaynak-hedef çiftleri arasında ışık yollarının kurulumunu im- kansız hale getirmektedir. OPS ağlarda ise kul- lanıcı trafiği optik paketlerde, kontrol bilgisiyle beraber taşınmaktadır. Her düğümde kontrol bilgisi ele alınır ve elektronik olarak işlenir. OPS, optik ortamdan kaynaklanan teknolojik kısıtlamalar yüzünden henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. OBS, WR'den OPS'ye geçişte ara çözüm olarak önerilmiştir. Bir OBS ağı WDM fiberler ile birbirine bağlanmış olan çekirdek (core) düğümler ve uç cihazlardan meydana gelmektedir.

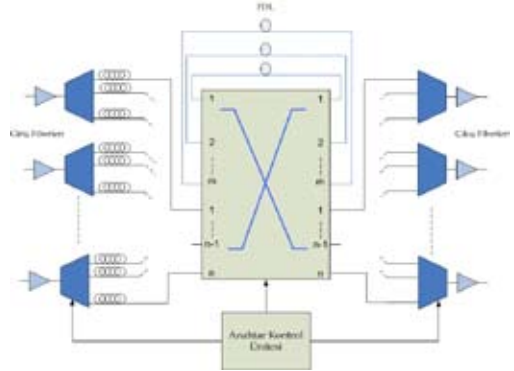
Bu çalışmada OBS ile değişken paket uzun- luklu OPS'in karşılaştırılması 14 düğümlü NSFNET çokgen topoloji ve halka topoloji üzerinde tek bir sınıf kullanılarak yapılmıştır. OBS için temel rezervasyon yöntemlerinden JET(Just Enough Time) kanal zamanlama al- goritması seçilmiştir [3].

### Optik Paket Anahtarlama(OPS)

OPS, optik ortamda paket anahtarlama ger- çekleştiren bir optik ağ modelidir. Basit optik paket anahtar mimarisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Düğüm paket başlığını yeniden düzenleme yeteneğine sahip optik anahtar birimini içerir.

Anahtar birimi, bir paketin başlığında bulunan bilgi ile yeniden düzenlenir. Başlığın kendisi elektronik ortamda işlenir ve paket ile aynı or- tamda, alt taşıyıcı bir frekansta veya ayrı bir kontrol kanalında bant dışı olarak taşınabilir. Başlığın işlenmesi için ve anahtarın yeniden düzenlenmesi için belirli bir zaman geçer. Bu esnada, paketin optik gecikme hattına(FDL) gönderilerek geciktirilmesi sağlanır.

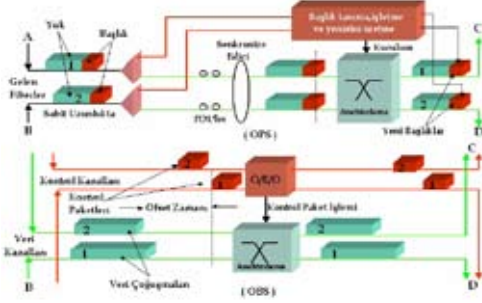
Optik paket anahtarlamanın uygulanabilir ol- ması için hızlı anahtarlama zamanları kaçınıl- mazdır. Günümüzde yarıiletken optik güçlen- dirici tabanlı anahtarlar 1 nanosaniyeden daha az anahtarlama zamanlarına sahipken, MEM tabanlı anahtarlar için anahtarlama zamanları 1 ile 10 milisaniye arasındadır. Yarıiletken optik güçlendiricili anahtarların dezavantajı pahalı olmaları ve anahtar mimarilerinin, ekstra güç kaybına neden olan optik birleştiricilerden ge- çen sinyale ihtiyaç duymasındadır. [4].



Şekil 1. OPS Mimarisi

OPS Ağlarda optik paketler, başlıkları ile bir- likte gönderilir ve bu gönderim öncesinde her- hangi bir rezervasyon veya kurulum gerçekle- şmez. Şekil 2'de görüldüğü gibi çekirdek düğü- me erişen bir paket, başlığı açılıp elektronik olarak işlenirken veri optik ortamda tutulur. Verinin optik ortamda tutulması, optik ortam- da tamponlamanın olmamasından dolayı en önemli problemlerden biridir. Veri optik ortam- da Fiber Gecikmeli Hatlar (FDLs) kullanılarak saklanır [5,6]. Sonra bu optik paketin iletimi

için giriş ve çıkış portları arasında bağlantı kurulur ve sonra bağlantı kesilir.



Şekil 2. OPS ve OBS Anahtarlama Teknikleri[7]

İki tür optik paket anahtar ve ağ tanımlanabilir: bunlardan ilki olan slotlanmış (slotted), sabit uzunluklu zaman slotlarına ve senkron paket işlemeye dayanmaktadır. İkinci tür ise asenkron, slotlanmamış (unslotted) optik paket işlemeye dayanmaktadır. Slotlanmamış tipte, paket uzunlukları değişken uzunluklu olmaktadır. Slotlanmış ağlarda ise bir zaman birimindeki paket uzunluğu sabittir. Paketler sabit uzunluklu bir zaman slotunda iletilirler. Bir zaman slotunun uzunluğu, optik paketin uzunluğunun, başlık uzunluğunun ve veri bağlantı katmanının getirdiği ek yükün toplamına eşittir. Slotlanmamış bir ağda, paketlerin uzunluğu değişkendir. Değişken uzunluklu bir paket bir anahtara herhangi bir anda giriş yapabilir ve böylece anahtarlama işlemi herhangi bir anda gerçekleştirilebilir.

Bir veya daha fazla paketin o anda kullanılmakta olan bir çıkış portunu kullanmaya çalışması durumunda çakışma meydana gelir. Senkron bir ağda, bu durum sadece iki veya daha fazla paketin bir çıkış portu için mücadele etmesiyle meydana gelmektedir. Diğer taraftan asenkron bir ağda, bir paket herhangi bir anda, başka bir paket tarafından kullanılmakta olan çıkış portuna varabilir. Değişken uzunluklu paketlerde sabit uzunluklu paketlere göre çakışma olasılığı daha fazladır. Bunun sebebi senkron anahtarlarda çakışmanın tek bir boyutta (spektral

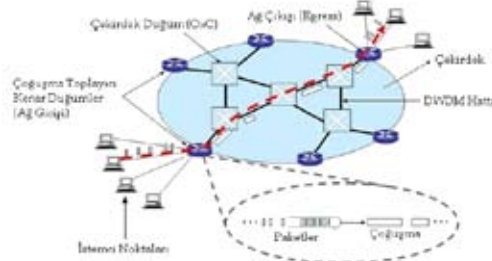
boyut) meydana gelmesi, değişken paket boyutu olması durumunda da spektral ve ayrıca geçici boyutta meydana gelmesidir. Çalışmada, OBS ile karşılaştırmada asenkron, slotlanmamış (unslotted) optik paket işlemeye dayanan değişken paket uzunluklu-OPS ele alınmıştır.

Optik paketler kendi hedeflerine varmadan önce bir çok anahtardan geçerler. Bir çekişme çözümü mekanizmasının varlığı çok önemlidir çünkü bu mekanizmanın ağ performansı üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi elektronik ağlarda, bu durum paketleri saklamak için bellekler kullanılarak ve sakla ve ilet yönlendirme teknikleriyle çözülmektedir. Elektronik paketler RAM'de (Random Access Memory) saklanmaktadır ve ağa yollanana kadar tutulabilmektedir. Optik paket anahtarlama, optik bellekler bulunmamaktadır ve bu yüzden çakışma olma durumunda genellikle kullanılan Geri beslemeli (Feedback) yöntemlerdir. Geri beslemeli hatlar saptırmalı yönlendirmeye[8] benzemektedir. Aradaki fark, uygun çıkış portu bulamayan paketin lokal olarak yönlendirilmesidir. Yani paket optik anahtarın çıkış portlarını giriş portları ile bağlayan FDL'lere (Fiber Delay Lines) yollar. Geri beslemeli hatları kullanan paketler, boş bir çıkış portu bulmak için ikinci defa deneme yapabilirler. Bu yaklaşımın bir diğer avantajı da, yönlendirmenin paketin hedef düğüme olan uzaklığını arttırmamasıdır. Geri beslemeli hatların dezavantajı ise, sıra kaybı olasılığıdır. Geri beslemeli hatlardan geçen paket, aynı akışa ait bir pakete yakalanabildiği için bir kaç kez kaybolabilir. Aynı zamanda, geri beslemeli hatların yönetimi optik düğümün yönetimini önemli bir şekilde arttırmaz ve aynı zamanda yüksek hızlı anahtarlarda da kullanılabilir. Simülasyon çalışmasında FDL'ler geri beslemeli mimarisinde kullanılmıştır.

### Optik Çoğuşma Anahtarlama(OBS)

Şekil 3 bir OBS yapısını göstermektedir. Bir OBS ağı WDM fiberler ile birbirine bağlanmış

olan çekirdek (core) düğümler ve uç cihazlardan (kenar-edge düğümler) meydana gelmektedir.



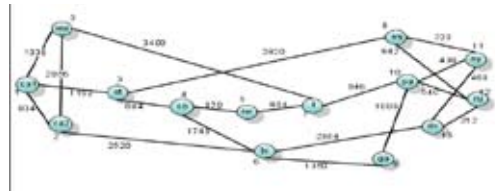
Şekil 3. OBS Ağ Mimarisi

Bir OBS çekirdek düğümü optik cross connect (OXC), elektronik anahtarlama kontrol ünitesi, yönlendirme ve sinyalleme işlemcilerinden oluşmaktadır [9]. OXC, giriş portundan alınan bir optik sinyali çıkış portuna elektronik sinyale dönüştürmeden aktaran, tıkanmasız bir anahtardır. OBS uç cihazları bir OBS arayüzü içermektedir ve bir IP yönlendirici, ATM anahtarı, çerçeve aktarıcı anahtarları vb. olabilir. Her OBS uç cihazı bir OBS giriş çekirdek düğümüne bağlıdır. Uç cihazlar farklı elektronik ağlardan(ATM,IP, FR gibi) gelen trafiği toplar. Trafiği hedef OBS uç cihazlarının adreslerine göre sıralar ve çoğuşma adı verilen değişken boyutlu birimleri oluşturur [10]. Her çoğuşma için, çoğuşmanın boyutu, hedef adresi gibi bilgileri içeren bir kontrol paketi oluşturulur. Bu kontrol paketi çoğuşmanın yolu boyunca önceden yollanır ve her düğümde elektronik olarak işlem görürler. Kontrol paketinin görevi, izlediği yol boyunca çoğuşma hakkında düğümleri bilgilendirmek ve kaynaktan hedefe uçtan uca bir optik yol oluşturmaktır. Belirli bir gecikme zamanından sonra (offset) uç cihaz çoğuşmanın kendisini ağa yollar ve kontrol paketinin kurduğu yol üzerinden bir optik sinyal olarak hareket eder. Çoğuşmanın iletimi tamamlandıktan sonra bu optik yol iptal edilir. Kontrol paketinin ve çoğuşmanın iletiminin ayrı olması OBS ağların en büyük avantajlarından birisidir [11]. OBS çalışma yapısı Şekil 2’de gösterilmektedir.

Anında ve gecikmeli rezervasyon yöntemi olmak üzere OBS’de temel iki yaklaşım vardır. OBS rezervasyon yöntemleri JIT(Just In Time) [12], Horizon[13] ve JET(Just Enoug Time) [10](vb.) gibi sıralanabilir.. JIT anında rezervasyon yöntemine dayanırken Horizon ve JET gecikmeli rezervasyon yöntemine dayanmaktadır. OBS rezervasyon yöntemlerinin karşılaştırılması [3] çalışmamızda gösterilmiştir. OPS ile kıyaslamada OBS rezervasyon yöntemlerinden JET seçilmiştir. JET protokolünü ön plana çıkaran temel özellikleri gecikmeli rezervasyon tekniği kullanması ve rezervasyon sırasında oluşan boşlukları (void) değerlendirilmesidir.

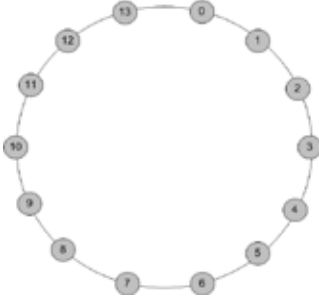
### Simülasyon Ortamı

Yapılan simülasyonda Şekil 4 ve 5’de görüldüğü gibi 14 düğümlü NSFNET çokgen (mesh) ve halka topolojileri kullanılmıştır. NS2 (Network Simulator 2) ortamında her bir OBS düğümü, çekirdek ve kenar düğümünden oluşan bir kombinasyon olarak tanımlanmıştır. OPS’de çekirdek, kenar düğüm ayrımı yapılmamıştır. Düğümler arası optik hatlar, sekiz adet veri kanalı içermektedir. Her hat çift yönlü ve her dalgaboyu 10Gbit veri iletimi yapabilmektedir. Oluşturulan NSFNET topolojisi Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 4. NSFNET(Çokgen-Mesh) Topolojisi

Simülasyonda kullanılan paket üreticimiz 2 durumlu MMPP trafik üreteci yöntemi ile çalışmaktadır. Üretilen trafik üç çeşit paket tipi içermektedir. Bunlar %10 oranında 50 Bayt uzunluğunda, %40 oranında 500 Bayt uzunluğunda ve %50 oranında 1500 Bayt uzunluğunda paketlerdir.



Şekil 5. Halka(Ring) Topolojisi

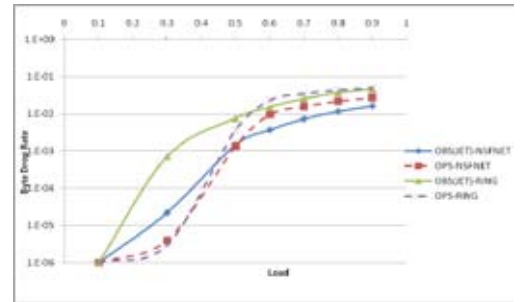
OBS'de, ağdaki her kenar düğüm diğer bütün kenar düğümleri hedef alan uniform bir trafik üretmektedir. Kenar düğümlerde, hem maksimum çoğuşma uzunluğunun hem de çoğuşma zaman aşımı kontrol yönteminin birlikte kullanıldığı hibrid çoğuşma oluşturma yöntemi kullanılmaktadır. Maksimum çoğuşma uzunluğu 64KB ve zaman aşımı (timeout) süresi 500µsec alınmıştır. Çekirdek düğümlerde rezervasyon mesajlarının(kontrol paketlerinin) işlenmesi için belirli bir zaman harcanmaktadır. Çoğuşmalar için seçilmesi gereken ofset zamanı, bir paket için ağdaki maksimum sıçrama sayısı ve bu işlem süresine bağlı olarak değişecektir. OBS(JET) için sabit bir işlem ve ofset zamanı seçilmiştir. JET için işlem zamanı 25µsn ve buna bağlı olarak ofset zamanında 175µsn olarak seçilmiştir.

OPS içinde OBS'de olduğu gibi paketler uniform bir dağılıma göre üretildi. OPS üzerinde çakışma olması durumuna karşı her düğümde 1.25µsec uzunluğunda 8 adet FDL kullanıldı. OPS'de başlık için uzunluk olarak 48 byte, OBS de ise kontrol paketi için 64 byte uzunluk değerleri seçildi. Giriş düğümlerde, 500KB boyutunda tampon bellekler (buffer) tanımlanmıştır. Hatlardaki gecikme süreleri hattın uzunluğu ile ışık hızının oranlanması ile elde edilmiştir. Toplam simülasyon zamanı 5 saniyedir.

### Simülasyon Sonuçları

Tek bir sınıf(mono-service class) üzerinde NSFNET ve Halka(Ring) topolojileri kullanı-

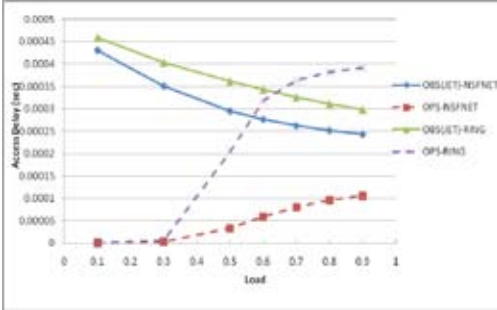
larak OBS(JET) ve değişken paket uzunluklu OPS'in karşılaştırılması yapılmıştır. OPS yönteminde küçük paketler kullandığından bant genişliği daha küçük void kayıpları ile kullanması beklenir. Fakat OPS tüm paketlerin art arda yollanamamasından dolayı paketler arası kullanılamaz boyutlardaki boşluklar oluşabilmektedir. Bu boşluklar ileriki düğümlerde bir paketin giremeyeceği boyutlarda olduğunda bu boşlukları geri kazanma şansı oldukça düşmektedir. OPS'deki bir diğer dezavantaj ise her optik paketin taşınması gereken optik başlığın ve koruma bitlerin getirdiği ek yüküdür. Simülasyondaki veri paketlerinin ortalama uzunluğu 320 byte civarındadır. Bir optik paket için ek yük 48byte uzunluğundadır. Bu durumda optik ağa bırakılan bir optik paketin uzunluğu  $320 + 48 = 368$  bytedir. Bu durumda optik ağa bırakılan her optik paket için  $(48 / 368)$  oranında bir ek yük taşınmak zorundadır. Bu da ağın toplam kapasitesinden yemekte ve ağın toplam taşıma kapasitesini düşürmektedir. OBS tarafında ise kontrol kanalı kullanılmaya zorunluluğu vardır. OBS'deki çoğuşmaların ortalama uzunluğunun 64000byte ve bir kontrol paketinin uzunluğu 64bytedir. Kontrol kanalı ihtiyacı  $(1/1000)$  seviyesindedir. OBS'deki kontrol kanalı ihtiyacı OPS'deki ek yüke oranlandığında oldukça azdır.



Şekil 6. OBS(JET) ile Değişken Paket Uzunluklu OPS'in Byte Düşme Oranlarının Karşılaştırılması

Şekil 6'da görüldüğü gibi OBS(JET) algoritması yoğunluk arttıkça topolojiden bağımsız olarak değişken uzunluklu(variable-length) OPS'den iyi sonuçlar vermektedir. Ring topolojinin OPS'de çakışma oluşma ihtimalini azalt-

tığı için daha iyi sonuçlar vermesi beklenirken yoğunluk arttıkça NSFNET topolojiden kötü sonuçlar vermektedir. Simülasyonda yoğunluk değerleri en yoğun hatta göre düzenlenmiştir: NSFNET’de düzensiz bir yapı olduğu için her düğüm üzerindeki yoğunluk bir değildir. Fakat ring topolojide homojen bir yoğunluk dağılımı söz konusudur. Ring topolojinin yapısı gereği her düğümde ağda yolculuk yapacak paketlerin büyük bir kısmı uğramaktadır. Bu da düğümlerde daha fazla yoğunluğa yol açacaktır. Ring Topolojide OBS’de yoğunluktan dolayı yapılamayan rezervasyonlar daha fazla çoğuşmanın ara düğümlerde düşmesine neden olurken OPS’de ise yoğunluktan dolayı sisteme girecek paketler kuyrukta daha fazla bekleyeceklerdir. OPS’in ring topolojideki kayıplarının çoğu kuyruğa giremeyen paketlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca yoğunluğun artmasıyla OPS’deki ek yükler ağı taşıma kapasitesinin belirli bir bölümünü aldığı için daha az paketin gidişine imkan tanınmaktadır. Bunun neticesinde tek bir sınıflı(mono-service class) yapılar Şekil 6’da görüldüğü gibi OPS’deki byte düşme oranları yoğunluk arttıkça OBS(JET)’e nazaran daha yüksek olmaktadır.



Şekil 7. OBS(JET) ile Değişken Paket Uzunluklu-OPS'in Hizmet Erişim Sürelerinin Karşılaştırılması

Şekil 7’de OBS(JET) ve OPS’deki hizmet erişim gecikme sürelerinin Ring ve NSFNET üzerindeki karşılaştırmaları görülmektedir. OBS’de bir paketin optik hatta girmesi(hizmet almaya başlaması) için geçen süreyi 3 aşamada inceleyebiliriz. Birinci aşamada; çoğuşma oluşturma için önceliğe ve hedefe göre grup-

lanan paketlerin çoğuşma oluşturma adımındaki bekleme süreleri. İkinci Aşamada; çoğuşmanın oluşturulmasından sonra gidebileceği bir kanal bulmayı beklediği kuyruktaki bekleme zamanı. Bu aşamadaki kuyruk mekanizması head of line(HOL) mantığında çalışmaktadır. Üçüncü aşama ise kontrol paketlerinin gönderilmesinin ardından çoğuşmanın hatta bırakılması için beklenen ofset zamanıdır. OBS’de ingress düğüme gelen bir paketin optik ağa erişimi için geçen süre bu üç aşamanın toplamı şeklindedir. OPS’de ise OBS’de belirtilen aşamalardan sadece ikinci aşama mevcuttur. OPS’de gelen paketin optik ağa bırakılma süresini sadece kuyrukta bekleme süresi belirler. OBS’de çoğuşma oluşturma zamanı ve ofset zamanları çoğuşma oluşturulduktan sonraki çıkış kuyruğundaki bekleme zamanına kıyasla oldukça yüksek değerlerdedir. Örneğin bir çoğuşmada çoğuşma oluşturmak için zamanaşımı süresi 500 µsec, ofset zamanının 175 µsec olduğunu düşünürsek, çoğuşma oluşumunda zamanaşımı süresine kadar bekleyen bir çoğuşmadaki paketlerin optik ağa erişim için ortalama bekleme süreleri  $((500 / 2) + 175 + \text{çoğuşmanın kuyrukta bekleme süresi})$  toplamına eşittir. Bu da 425 µsec üzerinde bir gecikme yapmaktadır.

OBS’de yoğunluk arttıkça çoğuşma oluşturma aşamasında çoğuşmaların oluşturulması daha hızlı gerçekleşebilmektedir. Çünkü çoğuşma oluşturma mekanizmasında maksimum çoğuşma eşik sınırından dolayı oluşturulan çoğuşmalar hatta bırakılmaktadır. Diğer yandan yoğunluğun artması ile oluşan çoğuşmaların hatta bırakılmak için kuyrukta bekleme süreleri de artacaktır. Fakat kuyrukta bekleme süresindeki artış çoğuşma oluşturmadaki azalmaya oranla oldukça azdır. Bu nedenle Şekil 7’de görüldüğü gibi OBS’de yoğunluğun artması ile hizmet erişim gecikme süreleri düşmektedir.

## Sonuçlar

Çalışmada OBS(JET) ile değişken uzunluklu-OPS’in karşılaştırılması tek bir sınıf üzerinde

NSFNET ve Halka topolojileri kullanılarak yapılmıştır. Simulasyon çalışmalarının sonunda OBS(JET) özellikle ağ yoğunluğunun yüksek olduğu zamanlarda veri kayıpları açısından daha başarılı olmaktadır. Diğer yandan OPS sistemleri düşük yoğunluk değerlerinde veri kaybı açısından daha başarılıdır. Ayrıca OPS sistemler düşük yoğunluklarda daha düşük hizmet erişim gecikme sürelerine ve uçtan uca gecikme süreleri değerlerine sahiptir. Topoloji açısından ele alırsak OBS için kullanılan topolojinin başarımlar açısından bir etkisi yoktur. Fakat NSFNET(mesh-çokgen) topolojide anahtarlama işleminin daha az olmasından dolayı başarımların daha fazla olacağı açıktır. Bu nedenle hali hazırda bulunan mesh sistemler üzerinde kullanılması düşünülebilir. OPS için ise kullanılan topoloji yoğunluğa bağlı olarak hem hizmet erişim gecikme sürelerini hem de data kayıp oranlarını etkilemektedir. Ring topolojide düşük yoğunluklarda daha yüksek başarımlar sağlayan OPS yoğunluğun artması ile mesh topolojiden daha kötü sonuçlar vermiştir. Bu da OPS sistemler için Ring topolojinin kullanılması için bazı algoritmik iyileştirmelerle bant genişliğinin daha etkin kullanmasının gerekliliğini göstermektedir. Sonuç olarak OPS ile elde edilen sonuçlar düşük yoğunluklarda OBS(JET)'den daha iyi iken yüksek yoğunluklarda OBS(JET) ile elde edilen sonuçlar daha iyi çıkmaktadır. Hizmet erişim gecikme süreleri bazında yapılan karşılaştırmada ise beklendiği gibi OPS ile elde edilen sonuçlar daha düşük çıkmıştır.

## Referanslar

- [1] Battestilli T. and Perros H., “An Introduction to Optical Burst Switching”, IEEE Communications Optical Magazine, Vol.41, pp.10-15, 2003.
- [2] Ramaswami, R. and Sivarajan, K.N., “Optical Networks”. Morgan Kaufmann, United States of America, 1-55860-655-6, 2002.

[3] Aydın, M.A., Zaim, A.H., ve Turna, Ö.C., “OBS Rezervasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, X. Akademik Bilişim '08, 30 Ocak-1 Şubat 2008, Çanakkale.

[4] Jue, J.P., and Vokkarane, V.M., “Optical Burst Switched Networks”, Springer, United States of America, 0-387-23756-9, 2005.

[5] Mukherjee, B., “WDM Optical Communication Networks: Progress and Challenges”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 18(10), 1810-1824, 2000.

[6] Chlamtacı, I., Ganz, A., and Karmi, G., “Lightpath communications: a novel approach to high bandwidth optical WANS”, IEEE Transactions on Communications, 40(7), 1171-1182, 1992.

[7] Qiao, C., and Chen, Y., “The potentials of optical burst switching (OBS)”, Optical Fiber Communications Conference, 23-28 March 2003 Atlanta, In Proceedings of OFC 2003, 219-220.

[8] Bononi, A., Castanon, A., and Tonguz, O.K., “Analysis of hot-potato optical networks with wavelength conversion”, IEEE Journal of Lightwave Technology, 17(4), 525-534, 1999.

[9] Xiong Y., Vandenhoute M. and Cankaya H., “Control architecture in optical burst-switched WDM Networks”. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 18(10):1838–1851, October 2000.

[10] Qiao C. and Yoo M., “Optical burst switching (OBS)- a new paradigm for an Optical Internet”. Journal of High Speed Networks, 8(1):69–84, January 1999.

[11] Perros H., “Connection-Oriented Networks: SONET/SDH, ATM, MPLS, Optical Network”. Wiley (March 21, 2005)

[12] Stevenson D., Baldine I., and et al. “Just in time signaling definition (Jumpstart)”. Jumpstart, an NSA funded project, January 2002.

[13]Turner J., “Terabit burst switching”. Journal of High Speed Networks, 1999.