

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARALEL ALGORİTMALAR İÇİN
DİNAMİK YÜK DENGELİYİCİ TASARIMI
VE UYGULAMALARI

ONUR DESTANOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2008

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARALEL ALGORİTMALAR İÇİN
DİNAMİK YÜK DENGELİYİCİ TASARIMI
VE UYGULAMALARI

Onur DESTANOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMANI: Yrd. Doç. Dr. Fatih Erdoğan SEVİLGİN

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2008



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JÜRİ ONAY FORMU**

JÜRİ

ÜYE (BAŞKAN) : Yrd. Doç. Dr. İlyas Kandemir

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. F. Erdoğan Sevilgen

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. H. Ali Mantar

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23 / 06 / 2008 tarih ve 2008 / 22 sayılı kararı ile yukarıdaki öğretim elemanlarından oluşmuş jüri tarafından düzenlenen 04 / 07 / 2008 tarihli Tez Savunma Tutanağı neticesinde Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ öğrencisi Onur Destanoğlu'nun çalışması GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Yönetim Kurulu'nun .../.../..... tarih ve/.... sayılı kararıyla Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans/~~Doktora~~ tezi olarak onaylanmıştır.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI :PARALEL ALGORİTMALAR İÇİN DİNAMİK YÜK DENGELİYİCİ TASARIMI VE UYGULAMALARI

YAZAR ADI :Onur DESTANOĞLU

Yük dengeleme işleminin amacı, var olan sistem kaynaklarının mümkün olan en yüksek verimle kullanılmasını ve tüm kaynakların hesaplama işleminde aktif olarak katılabilmesini sağlamaktır. Sistemin işlem yükü bakımından dengeli olabilmesi, hesaplayabileceğinden fazla iş yükü bulunan işlem birimlerinin fazla yüklerini, göreceli olarak daha az iş yüküne sahip olan işlem birimlerine iletimi ile sağlanmaktadır. Çalışma zamanı içerisinde gerçekleştirilen yük dengeleme işlemleri Dinamik Yük Dengeleme (DYD) olarak adlandırılır. DYD ardıl ya da doğrudan olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Doğrudan yöntemlerde, bir işlem biriminin sahip olduğu aşırı yükün iletileceği hedef işlem biriminin belirlenmesi tek ve karmaşık bir adımda gerçekleştirilir. Ardıl yöntemlerde ise hedef işlem birimi, birbiri ardına gerçekleştirilen, basit ve ardıl adımlardan sonra belirlenmektedir. Böylelikle ardıl yöntemlerin birkaç adımda ulaşacakları denge durumuna, doğrudan yöntemler daha hızlı, ancak daha fazla sistem kaynağı kullanarak ulaşmaktadırlar.

Bu çalışmada DYD yöntemleri ve özellikle ardıl yöntemler incelenmiştir. Ayrıca ardıl yöntemler arasında mevcut en başarılı yöntem olan Hidrodinamik Yaklaşım (HY) geliştirilerek hem ardıl hem de doğrudan yöntemlerden faydalanan melez bir yaklaşım olan Geliştirilmiş Hidrodinamik Yaklaşım (GHY) ortaya konulmuştur. Doğrudan yöntem olarak, rastsal dağıtım ya da hedeflendirilmiş dağıtım tekniklerini kullanan GHY, ani yük artışlarına ve anlık işlem gücü taleplerine neden olan aykırı durumlar karşısında, dengesiz yük dağılımına sahip sistemleri, dengeli hale mümkün olan en kısa sürede getirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca GHY, ardıl yöntem olarak HY kullanarak, yük dengeleme işlemini mümkün olduğunca az sistem kaynağı kullanarak sağlamayı hedeflemektedir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen testlerde de görülebileceği üzere, GHY, diğer ardıl DYD yöntemlerini hem yük dengesinin sağlanma hızı konusunda hem de sistem kaynaklarının verimli kullanılması konusunda geride bırakmaktadır.

SUMMARY

**THESIS TITLE : DESIGN AND APPLICATIONS OF A DYNAMIC LOAD
BALANCER FOR PARALLEL ALGORITHMS**

AUTHOR : Onur DESTANOĞLU

Load balancing is performed to achieve efficient utilization of the existing computational resources whereby none of the resources remains idle while some other resources are being utilized. Balanced load distribution can be attained by the migration of the excess load from the source nodes which have surplus workload to relatively lightly loaded destination nodes. Applying load balancing during run time is called Dynamic Load Balancing (DLB). DLB can be realized both in a direct or iterative manner according to the execution node selection. In iterative methods, the final execution node is determined through several iteration steps, while in direct methods it is selected in one complex step. Therefore, by using direct methods, a balanced state of the system can be achieved sooner than iterative methods, despite of the fact that direct methods consume much more computational power for load balancing process itself.

This study presents an enhanced hydrodynamic load balancing method called hybrid load balancing (HLB) method which is a hybrid method that takes advantage of both direct and iterative methods. Using random or targeted load migration as a direct method, HLB approach intends to solve the problems derived from the exceptional instantaneous load rises, and immediately diffuse the surplus workload to relatively free resources. Besides, using hydrodynamic approach as an iterative method, HLB aims to consume minimum possible system resources to balance the common workload distributions.

The results of the experiments designate that, HLB outperforms other iterative based dynamic load balancing methods in terms of both the time required for providing the balancing state and the resource utilization.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tüm aşamalarında, gerek bilgi birikimleri, gerek deneyimleri, ve gerekse de ilgileri ile beni her daim destekleyen danışman hocalarım Yrd. Doç. Dr. Fatih Erdoğan Sevilgen ve Doç. Dr. Ensar Gül'e; değerli yönlendirmeleri ve sağladıkları huzurlu iş ortamı ile çalışmamın şekillenmesinde katkısı bulunan TÜBİTAK-MAM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü personelinden Dr. Deniz Bölükbaş, Dr. Sevgi Akgün ve Lalehan Candemir'e; tezimin hazırlanma sürecinde bana hep destek veren Duygu Ceylan'a ve son olarak beni bu günlere getiren ve desteğini üzerimden hiç bir zaman esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
1 Giriş	1
1.1 Tez Çalışmasının Amaçları	5
1.2 Tez Çalışmasının Katkıları	5
1.3 Genel Bakış	6
2 Dinamik Yük Dengeleme	7
2.1 Dinamik Yük Dengeleme Adımları	7
2.1.1 Yük Ölçümü	7
2.1.2 Bilgi Politikası	8
2.1.3 Karar Verme Stratejisi	10
2.1.4 Yük İletimi	12
2.2 Dinamik Yük Dengeleme Algoritmaları	12
2.2.1 Merkezi Yük Dengeleme Yöntemleri	12
2.2.2 Hiyerarşik Yük Dengeleme Yöntemleri	13
2.2.3 Dağıtık Yük Dengeleme Yöntemleri	15
2.2.4 Doğrudan Yük Dengeleme Yöntemleri	16
2.2.5 Ardıl Yük Dengeleme Yöntemleri	22
3 Ardıl Dinamik Yük Dengeleme Yöntemleri	23
3.1 Tesadüfî Yaklaşımlar	23
3.1.1 Rastsal Dağıtım Yöntemi	23

3.1.2	Benzetilmiş Tavlama Tekniği	24
3.2	Belirlenimci Yaklaşımlar	25
3.2.1	Temel Belirlenimci Yaklaşımlar	25
3.2.2	Hidrodinamik Yaklaşım	33
3.2.3	Ardıl Dinamik Yük Dengeleme Yaklaşımlarının Deneysel Kıyaslaması	35
4	Geliştirilmiş Hidrodinamik Yaklaşım	38
4.1	Durağan Dağıtımlı Hidrodinamik Yaklaşım	39
4.2	Rastsal Dağıtımlı Hidrodinamik Yaklaşım	40
4.3	Geliştirilmiş Hidrodinamik Yaklaşımın Uygulanması	41
4.4	Hidrodinamik Yaklaşımların Deneysel Kıyaslaması	43
5	Sonuçlar	52
6	Öneriler	55
7	Kaynaklar Dizini	56
8	Özgeçmiş	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

DYD	:	Dinamik Yük Dengeleme
HY	:	Hidrodinamik Yaklaşım
GHY	:	Geliştirilmiş Hidrodinamik Yaklaşım
DHY	:	Durağan Dağıtımli Hidrodinamik Yaklaşım
RHY	:	Rastsal Dağıtımli Hidrodinamik Yaklaşım
GM	:	Gradient Model (Eğim Yaklaşımı)
xGM	:	Extended Gradient Model (Geliştirilmiş Eğim Yaklaşımı)
CWN	:	Contracting Within a Neighborhood (Komşuluk Arası Antlaşma)
ACWN	:	Adaptive Contracting Within a Neighborhood (Komşuluk Arası Uyarlamalı Antlaşma)
DY	:	Difüzyon Yaklaşımı
ADF	:	Local Average Diffusion (Yerel Ortalamalı Difüzyon)
ODF	:	Optimally-tuned Diffusion (En İyiye Ayarlanmış Difüzyon)
BDY	:	Boyut Değişimi Yaklaşımı

- ADE : Average Dimension Exchange (Ortalama Boyut Değişimi)
- ODE : Optimally-tuned Dimension Exchange (En İyiye Ayarlanmış Boyut Değişimi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Dinamik Yük Dengeleme Yaklaşımlarının Genel Sınıflandırılması	11
2.2 Hiyerarşik Yük Dengeleme Yapısı	13
3.1 Hidrodinamik Yük Dengelemede Kullanılan Kap Modeli	34
3.2 Klasik Ardıl Yük Dengeleme Yaklaşımları ile Hidrodinamik Yaklaşımın Kıyaslama Sonuçları	37
4.1 Geliştirilmiş hidrodinamik yaklaşımı mesajları	42
4.2 Tetik değeri belirleme simülasyonunun sonuçları	44
4.3 İşlem düğümü sayısı artırılırken elde edilen en yüksek çalışma süreleri	46
4.4 İşlem düğümü sayısı artırılırken elde edilen ortalama yük dengeleme süreleri	47
4.5 İşlem düğümü sayısı artırılırken elde edilen ortalama boşta bekleme süreleri	48
4.6 Yük miktarı artırılırken elde edilen en yüksek çalışma süreleri	49
4.7 Yük miktarı artırılırken elde edilen ortalama yük dengeleme süreleri	50
4.8 Yük miktarı artırılırken elde edilen ortalama boşta bekleme süreleri	50

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1 Tek Kapıdan İletişim İle Yık Dengeleme İşlemi	31
2 Tüm İletişim Kapılarının Kullanıldığı Yık Dengeleme İşlemi	31
3 Tüm Testlerin Standartlaştırılmamış Sonuçları	46

1 GİRİŞ

Farklı yapı ve özellikteki işlem birimlerinden oluşan paralel sistemler, yüksek performansları, yüksek ölçeklenebilirlikleri ve düşük maliyetleri nedeni ile son yıllarda paralel benzetim ve veri işleme sistemlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Bu ve benzeri sistemlerde, iş yüklerinin çalışma düğümleri arasında düzgün ve dengeli dağıtılması, genel çalışma hızı yönünden kritik öneme sahiptir. Gerek işlerin üzerinde koşturulacağı sistemlerin heterojen yapı sergilemesi, gerekse de problemlerin değişken iş gücü gereksinimlerine sahip olmaları gibi nedenler, yük dağılımının dengeli bir şekilde gerçekleştirilememesine ve dolayısı ile çalışma düğümleri arasında yük dengesizliklerine sebebiyet vermektedir. Bu dengesizlik, bazı iş düğümlerinin, kendilerine verilen işleri bitirip halen çalışmakta olan düğümleri beklemesine neden olmaktadır. İş düğümlerinin, çalışma sonunda ve atıl durumda olmak kaydı ile birbirlerini beklemesi, sistemin genel çalışma hızını ve performansını ciddi bir şekilde olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumda, iş yüklerinin dengeli bir şekilde dağıtılamaması ya da daha sonradan dahi olsa dengeli hale getirilememesi, paralel sistemlerin performansını ciddi bir şekilde düşüren nedenler arasında gösterilmektedir.

Paralel sistemlerde yük dağılımındaki sorunlar nedeni ile oluşan yavaşlamayı önlemek için birçok yük dengeleme yöntemi ortaya konulmuştur. Bazı yöntemler, işlem yükünün işlem birimlerine kullanıcı tarafından önceden belirlenmiş durağan bir iş dağılımıyla veya rastsal bir biçimde dağıtılmasını sağlamaktadır. Çalışma esnasında herhangi bir ek işlem gerektirmeyen, iş yükü dağılımının kullanıcı tarafından belirlenmesi işlemi basit yapısı nedeni ile sıkça tercih edilen bir yöntem olmakla birlikte beraberinde birçok kısıt getirmektedir. Bu kısıtlar, yöntemin yalnızca çalışma zamanının önceden tahmin edilebilir olduğu ve dengeli iş yükü dağılımının önceden belirlenebildiği problemlerde kullanılabilmesi, çözülmek istenen problemin uygulama uzayına tam bir hakimiyet gerektirmesi ve anlık değişimlere uyum sağlayamaması olarak sıralanabilir. Rastsal dağıtım ise, iş yüklerini belirli bir algoritma ile belirlenen en uygun durumdaki (iş yükü olarak en az yüke sahip olan düğüm) iş düğümlerine göndermek yerine, o an seçilen herhangi bir iş düğümlerine gönderdiği için yüksek etkinlik değerlerine ulaşamamaktadır.

Yukarıda bahsedilen dar boğazları önlemek ve tahmin edilemeyen iş yükü özellikleri gösteren problemlerde dahi yüksek performans sağlamak için, Dinamik Yük Dengeleme yaklaşımı (DYD) geliştirilmiştir. DYD, çalışma zamanında oluşan ya da önceden var olan iş yükünün, çalışma düğümleri arasında, düğümlerin o anda sahip oldukları iş yüküne bağlı olarak dinamik bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktadır. Bu şekilde paralel sistemlerin etkinliği ve verimliliği artmakta, ve böylelikle problem çözümleri çok daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

Dinamik yük dengeleme yaklaşımları, iş yükünün çalıştırılacağı son iş biriminin belirlenmesinde çeşitli “karar verme” algoritmaları kullanırlar [1][2]. Bu algoritmaların çalıştırılması, işlem biriminin hâlihazırda sahip olduğu iş yüküne ek bir hesaplama maliyeti getirmektedir. DYD yaklaşımları, karar verme algoritmasının konuşlandırılacağı ve dolayısı ile ek iş maliyetini üzerine alacak olan iş düğümünün tüm sistemdeki konumuna göre, merkezi yaklaşım, hiyerarşi yaklaşım ve dağıtık yaklaşım olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir.

Merkezi DYD yaklaşımları, tüm iş yükü dağıtım sorumluluğunu tek bir iş düğüme vermekte, diğer iş düğümlerine ise bu ana düğümün ürettiği ve gönderdiği işleri işleme ve sonuçlarını geri gönderme sorumluluğunu yüklemektedir. Bu yapı daha çok bir iş havuzu yapısı sergilemektedir. İş havuzu uygulaması, çalıştırma ve uygulama maliyetinin düşük olmasına rağmen, sistem dahilindeki belirli bir kaynağın sadece yük dağıtım işine ayrılması ve bu yapının bir dar boğaz oluşturması nedenleri ile büyük boyutlu sistemlerde tercih edilmemektedir [3]. Bu yöntem ayrıca, fiziksel hatalara karşı aşırı duyarlı bir yapı sergilemekte ve hata olasılığının yüksek oranlarda olabileceği küme ve şebeke tipi topolojilerdeki bilgisayar uygulamalarında sorunlar oluşturabilmektedir.

Hiyerarşik DYD yaklaşımlarında, merkezi yöntemlerin sahip olduğu tek başlı yönetim yapısının belirli bir hiyerarşik düzene yayılmış hali sunulmaktadır [3]. Burada üretilen işler, tek bir ana düğüm tarafından ara düğümlere gönderilirken, işin işleneceği nihai iş birimi ise ara düğümler tarafından belirlenmektedir. Bu yapı, merkezi sistemlerin sahip olduğu büyük ve tekil darboğazı belirli bir aşamada aşarken, ortaya daha küçük yapıda yeni darboğazlar çıkarmaktadır. Ayrıca yüksek performans sağlanabilmesi için, sistemin üzerinde çalıştırılacağı ağ topolojisinin,

hiyerarşik DYD yapısına uyum sağlamasının gerekliliği de bu yaklaşımın kullanım alanlarını kısıtlamaktadır.

Dağıtık DYD yaklaşımlarında ise, karar verme mantığı, tüm sisteme eşit olarak dağıtılmakta ve her düğüm kendi yükünün gönderileceği iş biriminin bulunması ile sorumlu tutulmaktadır [4][5]. Bu yapı ile yük dengeleme işlemi ile oluşturulabilecek darboğazlar tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Ancak, yine bu yapı ile tüm çalışma düğümlerine, yük dengeleme işlemi kaynaklı yeni ek hesaplama yükleri getirilmektedir. Bu çalışma kapsamında üzerinde daha sık değinilecek olan dağıtık yük dengeleme yöntemleri kendi içlerinde, fazla yükün iletileceği son işlem biriminin belirlenmesi işlemine göre, doğrudan yük dengeleme ve ardıl yük dengeleme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Doğrudan DYD yaklaşımları, her işlem biriminin, tüm sistemin iş yükü hakkında kesin bir bilgiye sahip olmasını gerektirmektedir [5][6][7]. Var olan bu genel bilgi yardımı ile bünyesinde hesaplayabileceğinden fazla iş bulunduran her işlem birimi, yükün iletileceği en uygun hedef işlem birimini belirlemekte ve yükün iletimini tek bir adımda gerçekleştirmektedir. Bu yapıda, sistemin yük durumu hakkında bilgi sahibi olma işlemi, ağ üzerinde, olağan trafiğinin ötesinde ek bir yük dengeleme mesajı trafiği oluşturmaktadır. Ayrıca iletimin yapılacağı hedef düğümün kesin olarak belirlenmesi ve bu işlem sırasında diğer düğümlerin de aynı hedefleri seçmemesinin sağlanması işlemleri, ağır hesaplama ve mesajlaşma maliyeti oluşturmaktadır. Bu durum doğrudan yöntemlerin yük iletimini tek adımda gerçekleştirmelerine rağmen, özellikle büyük ölçekli sistemlerde tercih edilememesine neden olmaktadır.

Ardıl DYD yaklaşımları ise, genel en iyi iş yükü dağılımının, ardışık tahminleri üzerinden iş görmektedirler. Bu nedenle her adımda iş yükü aktarımını belirli boyutlarda ve sınırlar dâhilinde gerçekleştirirler. Fazla iş yükünün ulaştırılacağı son noktadan çok, o an için iş yükünün bulunması gereken en uygun iş düğümünü, komşu düğümler arasından bularak iş yükü iletiminin gerçekleştirilmesini sağlarlar. Bu yapı, fiziksel olarak dağıtık yapıda ve belirli komşuluk mantığı ile birleştirilmiş çeşitli topolojilerdeki hesaplama sistemlerinde, komşular arası iletimin, doğrudan

komşuluğu olmayan düğümlere göre hızlı yapılması dolayısı ile iletimde zamandan kazanç sağlayabilmektedir.

Ardıl yöntemler difüzyon, boyut değişimi ve eğim olmak üzere üç temel yaklaşım üzerine kurulmuştur. Difüzyon yaklaşımı yükü komşular arasında, tüm komşulara birden ve eş zamanlı olarak dağıtırken, boyut değişimi yaklaşımı, halihazırda ardıl olarak işleyen yük dengeleme işlemini, komşular arasındaki boyutlara göre alt adımlara ayırmakta ve her boyuttaki komşulukları ile sırayla yük dengeleme işleminde bulunmaktadır [4]. Bir diğer temel ardıl yaklaşım olan eğim yaklaşımı ise, yük dengesizliklerini tüm sistem dahilinde olduğu varsayılan ve hesaplama birimlerinin sahip olduğu iş yükleri ile ölçeklendirilen bir yüzey yardımı ile bertaraf etmektedir [8]. Bu üç yaklaşım, geliştirilen diğer ardıl yaklaşımlara temel teşkil etmişler ve bu yaklaşımlar doğrultusunda yüksek başarılı yük dengeleme gerçekleştiren hidrodinamik yaklaşım (HY) gibi yaklaşımlar ortaya konulmuştur [9][10].

Bu çalışma kapsamında, var olan ardıl yöntemler ile doğrudan yöntemlerin çeşitli zayıf yönleri ortaya konmuş, ve bu zaafılar yine aynı yöntemlerin güçlü yönlerinin birleştirilmesi ile ortaya çıkarılan melez bir yapı olan gelişmiş hidrodinamik yaklaşım (GHY) ile önlenmeye çalışılmıştır. Hidrodinamik yaklaşımın genel prensiplerini kullanarak ardıl yük dengeleme stratejisini benimseyen GHY, sistem genelinde gerçekleşmesi muhtemel olan ve ani yük artışları ile sonuçlanan, aykırı durumlarla karşılaşılması durumunda ise doğrudan yük dengeleme yöntemlerine başvurmaktadır. Oluşabilecek aykırı durumlar, bir işlem biriminin kapatılması ya da dinamik yük üretimi gibi sebeplerle oluşan aşırı yük dengesizlikleri olarak tanımlanabilmektedir. Bu durumlarda, yük dengeleme amacı ile GHY, rastsal olarak belirlenen ya da önceden belirlenmiş, olası hedef listelerini kullanarak, fazla işleri işlem biriminin doğrudan komşuluğunun uzağına göndermekte ve oluşan fazla yükleri sistem geneline hızla dağıtmaktadır. Halbuki aykırı durumlarda dahi HY'ın kullanılması durumunda, sistemin oluşan fazla yükü tüm sisteme yayması çok daha uzun zaman alacak ve genel sistem başarımı olumsuz yönde etkilenecektir.

Çalışma kapsamında, ele alınan ardıl yaklaşımlar teorik ve deneysel olarak kıyaslanmış ve analiz edilmiştir. Ayrıca tez kapsamında ortaya konulan geliştirilmiş

hidrodinamik yaklaşım da ele alınan ardıl yöntemler ile deneysel olarak kıyaslanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, geliştirilen melez yaklaşımın, yük dengeleme işlemine ihtiyaç duyulan durumlarda, halihazırda var olan yöntemlerden çok daha başarılı olduğu saptanmıştır.

1.1 Tez Çalışmasının Amaçları

Bu tezin genel amacı dinamik yük dengeleme algoritmaları üzerinde literatür araştırması yapmak ve bu algoritmalara, gerek hesaplama düğümleri üzerinde ek olarak oluşturduğu işlem yükü bakımından, gerek sistem kaynaklarının yüksek verimlilik ile kullanılmasını sağlaması bakımından alternatif olabilecek yeni bir algoritma geliştirmeye çalışmaktır. Bu tez kapsamında temel olarak ele alınan problem, paralel sistemlerin yüksek verimlilikle çalıştırılabilmesini sağlayan dinamik yük dengeleme işlemidir. Dinamik yük dengeleme, paralel sistemlerin heterojen yapıda olması ve yük dağılımlarındaki sorunlar nedeni ile oluşan yavaşlamayı önlemek için ortaya konulmuş bir işlemdir.

Tez kapsamında, dağıtık bir sistemde, birimler üzerinde oluşturduğu işlem yükü ve kaynakların verimli kullanılması açısından mevcut algoritmalarından daha etkin bir dinamik yük dengeleme algoritması geliştirmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda yapılması hedeflenenler şunlardır:

- Literatürde bulunan çözümleri ortaya koymak ve bu problemlerin çözüm yöntemleri hakkında genel bir fikir edinmek,
- Bahsedilen yöntemlerin hangilerinin bu problem için daha iyi sonuçlar verdiğini deneysel olarak araştırmak,
- Elde edilen bilgiler çerçevesinde, işlem birimlerine daha az işlem yükü getiren ve mevcut sistem kaynaklarını daha yüksek verimlilikle kullanan bir yöntem geliştirmeye çalışmak ve analizini gerçekleştirmek.

1.2 Tez Çalışmasının Katkıları

Tezin temel katkıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Özellikle ardıl dinamik yük dengeleme yöntemleri olmak üzere, dinamik yük dengeleme konusunda çalışma yapacak araştırmacılara kaynak sağlamak,
- Literatürde teorik olarak en uygun olduğu ispatlanmış algoritmaların, gerçekleştirilebilirliğini ve deneysel sonuçlara göre gerçek performanslarını ölçmek,
- Geliştirilen yeni bir algoritma ile çözüme yönelik ilerleme sağlamak.

1.3 Genel Bakış

Bu çalışmada öncelikle dinamik yük dengeleme algoritmalarının teorik alt yapısı ile ilgili bilgiler verilmekte ve ardından gerçekleştirilen uygulamalar anlatılmaktadır. Son bölümde ise yapılan deneyler ve sonuçları değerlendirilmektedir.

Bölüm 1’de, dinamik yük dengeleme algoritmaları hakkında genel bilgiler verilmiş ve kullanım nedenleri açıklanmıştır. Bölüm 2’de, dinamik yük dengeleme algoritmalarının kullandıkları yöntemler incelenmiş ve genel çalışma prensipleri üzerinde durulmuştur. Yine bu bölümde, dinamik yük dengeleme algoritmalarının genel bir sınıflandırması verilerek literatürde var olan araştırmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 3’te, dinamik yük dengeleme işleminin, bu çalışma kapsamında ele alınan kolu olan ardıl dinamik yük dengeleme metodları irdelenmiştir. Klasik ardıl yöntemler ile, onlardan türetilmiş bir yöntem olan hidrodinamik yaklaşım (HY) incelenmiş ve deneysel ve teorik olarak karşılaştırılmıştır.

Bölüm 4’te, çalışma kapsamında ardıl yöntemleri geliştirmeyi amaçlayan, geliştirilmiş hidrodinamik yaklaşım (GHY) ortaya konmuştur. Yine bu bölümde, GHY ile mevcut en iyi ardıl dinamik yük dengeleme yöntemi olan HY deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

Bölüm 5 ve Bölüm 6’da, yapılan çalışmanın sonuçları değerlendirilmekte ve ileride yapılabilecek çalışmalar hakkında önerilerde bulunmaktadır.

2 DİNAMİK YÜK DENGELEME

En genel olarak, bir ya da birden çok problemin çözümünde birlikte çalışan iş düğümleri arasındaki yük dengesizliklerinin, fazla yüklerin iş düğümleri arasında iletimi sayesinde dengelenmesi işlemi olarak tanımlanabilen dinamik yük dengeleme (DYD), yük ölçümü, bilgi paylaşımı, karar verme ve iş aktarımı olmak üzere dört ana safhadan oluşmaktadır [1][2].

2.1 Dinamik Yük Dengeleme Adımları

DYD işleminde ilk olarak, işlem düğümlerinin yük ölçümleri yapılmaktadır. Daha sonra, her düğümün hesapladığı yük bilgisi, belirlenen bir bilgi politikası kapsamında diğer düğümler ya da merkezi bir düğüm ile paylaşılır. Toplanan yük bilgilerinden yola çıkılarak verilen bir karar ile, yük dengeleme işleminin hangi iş düğümleri arasında yapılacağı belirlenir. Son olarak, yük iletiminin hangi yükleri kapsayacağı ve nasıl yapılacağı sorusuna cevap aranır ve iş yükü iletimi gerçekleştirilir. Bu adımlar, problemin çözülme süresi boyunca belirli aralıklar ile tekrarlanarak nihai yük dengesine ulaşmak amaçlanmaktadır.

2.1.1 Yük Ölçümü

Çalışma düğümünün güncel iş yükü durumunun gözlenmesi ve parametrik hale getirilmesi işlemidir. Bu işlem, çalışma düğümlerinin gerçekleştirecekleri, olası bir yük dengeleme işleminin yapılıp yapılmaması kararını doğrudan etkilemektedir.

Yük ölçümü, iş düğümünün yerinde gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada her çalışma düğümünün sahip olduğu iş yükü, iş miktarı [5], çalıştırdığı son işin tamamlanma süresi [7], bir sonraki adımda sahip olacağı iş yükü miktarı tahmini [6] ve iş yükü dengeleme gerçekleştirilecekse oluşacak ağ yükü [11] gibi kıstaslar göz önüne alınarak hesaplanmaktadır.

Bu kıstasların seçimi, hem koşturulacak DYD algoritmasının performansı açısından, hem de sistemin en basit ve en hızlı şekilde karar vermesini sağlayabilmesi açısından önemlidir [5]. İş yüklerinin benzer özellikler gösterdiği (harcadıkları sistem kaynaklarının benzer olduğu) durumlarda ise, öngörü sistemi

kullanılarak iyimser yük dengeleme yapılması sağlanarak yük yığınlarının oluşumu önceden engellenebilmektedir [6][7]. Bunların haricinde, yüksek gecikme oranına sahip ağlarda çalışan sistemlerde, ağda gereksiz yük oluşumunu önleyen kıstaslar seçilebilmektedir [11].

2.1.2 Bilgi Politikası

Dinamik yük dengeleme algoritmalarının ikinci adımı olan bilgi politikası işlemi, tüm sistemin ya da yerel komşulukların yük durumu hakkında bilgi sağlamak için bilgi alış verişinin nasıl gerçekleştirileceğinin belirlenmesidir. Bu işlem dinamik yük dengeleme işlemleri haricinde kaynak takibi ve sistem izleme gibi amaçlar ile de kullanılmaktadır.

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken husus sistem karmaşıklığını göz önüne alarak, olabilecek en uygun, ölçeklenebilir ve düşük ağ yüküne sahip bilgi politikasını belirlemektir.

Günümüzde kullanılmakta olan bilgi politikaları, uygulandıkları (paralel sistem genişledikçe sistemde ortaya konacak ağ yükünü yaratacak) veri iletim yöntemlerine göre periyodik, talebe bağlı ve olay tabanlı olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

Yığın politikası olarak da anılan periyodik bilgi politikasında, her çalışma düğümü önceden belirlenmiş bir periyoda göre düzenli olarak kendi yük durum bilgisini yayımlar. Bu işlem paralel sistemin o anda bir yük dengeleme işlemine ihtiyaç duyup duymamasına bakmaksızın gerçekleştirilir.

Periyodik yöntemin temelinde, yük verisinin iletileceği zaman aralığının belirlenmesi yer almaktadır. Bu süreç paralel sistemin büyüklüğüne ve yük durumuna göre belirlenmektedir. Zaman aralığının uzun tercih edilmesi durumunda, yük dengeleme işleminin eski veriler ile gerçekleştirilmesi ve dolayısıyla yanlış kararlar alınarak sistem hızlanmasının olumsuz etkilenmesi söz konusu olacaktır. Öte yandan, kısa aralıkların tercih edilmesi durumunda ise, gereğinden çok yük durum bilgisi aktarımı yapılacak ve paralel sistemin üzerinde çalıştığı ağ, yük dengeleme algoritmasının üretmiş olduğu ve kullanılmayacak birçok veri taşıyarak, sistemin genel işleyişini olumsuz yönde etkileyecektir.

Periyodik yapı kolay uygulanabilirliği nedeni ile en çok tercih edilen bilgi politikasıdır. Ancak bu yöntemin uygulanması esnasında etkinlik ve ölçeklenebilirlik kısıtları kritik rol oynamaktadır. Birçok büyük sistemde uygulanması, sistemin beraberinde getirdiği büyük ağ yükü nedeni ile paralel sistemin yavaşlamasına ve etkinliğin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır.

Talebe bağlı yöntemde ise, yük dengeleme algoritmasını çalıştıracak olan düğüm işlemi başlatmadan önce tüm sisteme yük durum bilgisi alma talebinde bulunmaktadır. Talep mesajını alan her çalışma düğümü, yük durum bilgisi oluşturarak ilgili düğüme iletmektedir. Böylelikle en aza indirilmiş olan yük durum mesajları ile ağ, dinamik yük dengeleme algoritması verilerinin oluşturacağı olası aşırı yüklemelerden korunmuş olmaktadır. Fakat bu durumda her çalışma düğümünün yük bilgisi oluşturup, oluşturduğu veriyi geriye iletmesi belirli bir gecikme süresi alacağından yük dengeleme işleminin gerçekleştirilmesi gecikecektir. Ayrıca periyodik olarak gönderilen yük bilgisi talep mesajları, bir eşleme noktası olarak işlem görmektedir. Bu durum paralel sistemlerin çalışma hızını olumsuz etkilediği için istenmeyen bir durum oluşturmaktadır.

Olay bağımlı yöntemde, çalışma düğümünün iç durumuna bağlı olarak oluşabilecek özel durumlar (aşırı yüklenme, istenen zaman adımına gelinmesi, boşta bekleme, vs.) doğrultusunda oluşturulacak yük durumu bilgi mesajının iletimi gerçekleştirilmektedir. Eşzamansız bir özellik sergileyen olay tabanlı yapıda mesajların, düğümlerde oluşabilecek hangi özel durumlarda üretileceği sorusuna yanıt verilmesi zorunluluğu bu yöntemin temel sorununu oluşturmaktadır.

Bu üç yapı ile genel ve yerel politikalar belirleyerek paralel sistemlerin yük dengeleme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Sistemler büyüdükçe ortaya çıkan aşırı ağ yüklenmeleri problemi, sistemin parçalara ayrılarak yerel yük dengelesinin aranması veya hiyerarşik bir sistem oluşturulması ile çözülmeye çalışılmıştır [3].

Bunun yanında paralel sistemlerin tasarlanması aşamasında, bilgi politikasının daha isabetli bir şekilde belirlenebilmesi için “bilgi etkinliği” olarak adlandırılan bilgi politikası etkinlik ölçüm kriteri oluşturulmuştur [1].

Denklem (2.1)'de gösterilen G , sistemde yük dengeleme algoritması kullanılarak elde edilecek hızlanma (speedup) (S) ile tam yük dengesi sağlanmış bir sistemin hızlanmasının (S_{op}) oranını ifade etmektedir. Bu değer, elde edilen hızlanmanın, olası en iyi hızlanmaya oranını verdiği için alabileceği en yüksek değer olan “1”e olabildiğince yakın tutulması, sistemin genel hızlanmasının olumlu olduğunu belirtmektedir. Bir sistem düğümünün ürettiği toplam mesaj sayısının (M) sistemdeki toplam düğüm sayısı (N) ve kabul edilen toplam yük dengeleme işlemi sayısının (O) çarpımına oranını denklem (2.2)'de m ile gösterilmektedir. Bu değerın yüksek olması sistemin gerçekleştirdiği DYD mesajlaşmalarının çoğunun gereksiz olduğunu ve etkinliğin düşük olduğunu ifade etmektedir. Son olarak denklem (2.3)'de verilen ε ise seçilen yük durum bilgisi bildirme politikasının sisteme sağlayacağı bilgi etkinliğini gösterilmektedir. Farklı sistemlerin ya da yaklaşımların bilgi etkinlikleri karşılaştırıldığında, yüksek bilgi etkinliği değerine sahip sistemlerin daha yüksek başarıma sahip olduğu görülmektedir.

$$G = \frac{S}{S_{op}} \quad (2.1)$$

$$m = \frac{M}{N \times O} \quad (2.2)$$

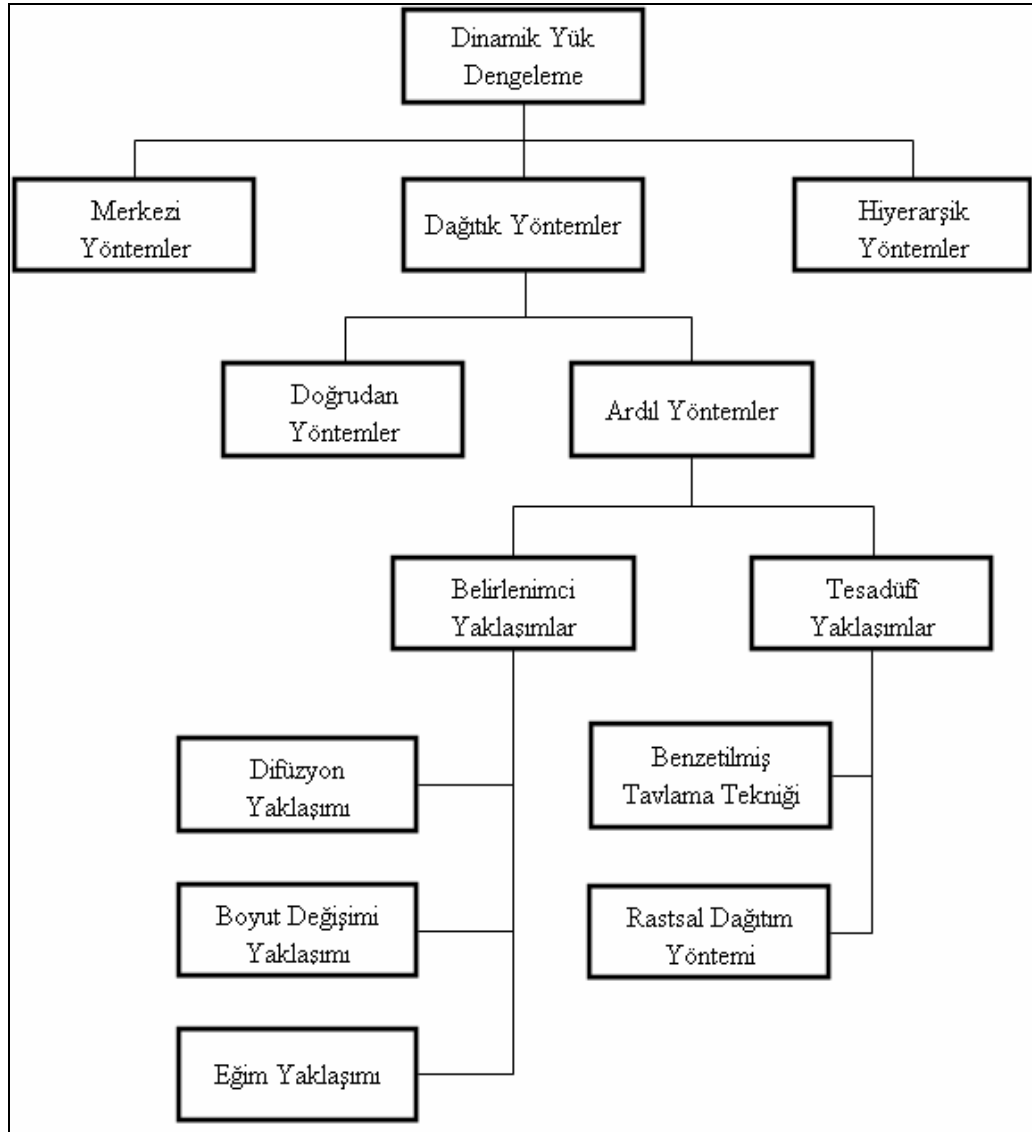
$$\varepsilon = \frac{G}{m} \quad (2.3)$$

Yukarıda belirtilen bilgi etkinliği kullanılarak elde edilmiş sonuçlar [1]'de ayrıntısı ile verilmiştir.

2.1.3 Karar Verme Stratejisi

Karar verme safhası, tüm yük dengeleme işleminin gerçekleştirilip gerçekleştirilmeyeceğinin kararının verildiği ve DYD algoritmalarının özünü oluşturan safhadır. Bu safhada, fazla yükün hangi iş düğümüne nakledileceğine karar verilerek, tüm yük dengeleme işleminde, hangi düğümden hangi düğüme yük iletimi yapılacağı belirlenir. Alınan kararlar, DYD işleminin çalışma hızı ve etkinliği konusunda belirleyici olmaktadır. Bu özelliği ile tüm DYD yaklaşımlarının sınıflandırılmasında karar verme safhası temel alınabilmektedir.

Karar verme stratejisinin DYD üzerindeki etkisini göz önüne alarak ortaya konulan genel sınıflandırma Şekil 2.1’de resmedilmektedir.



Şekil 2.1 Dinamik Yük Dengeleme Yaklaşımlarının Genel Sınıflandırılması

Bu sınıflandırmanın ilk seviyesi, yük dengeleme işleminde karar verme mekanizmasının işlem göreceği düğümün yerine göre oluşturulmuştur. Sınıflandırma yapısının üçüncü seviyesinden itibaren ise, karar mekanizmasının hâlihazırda belirlenen yerinin ötesinde, nasıl bir yöntem kullanıldığına göre ayırım yapılmıştır.

2.1.4 Yük İletimi

Bu safhada, daha önceki safhaların ürünleri sonucunda alınan karara göre seçilen düğüme, hangi yüklerin, hangi yollarla gönderileceği sorusunun cevabı aranmaktadır. Bu işlem sonucunda yük dengeleme işlemi sonlanmış olur.

2.2 Dinamik Yük Dengeleme Algoritmaları

Yük dengeleme algoritmaları, karar verme mekanizmasının sistem genelinde aldığı konuma göre sınıflandırılabilir. Aşağıda, bu sınıflandırma üzerinde durularak, var olan yük dengeleme algoritmalarından bazıları açıklanacaktır.

2.2.1 Merkezi Yük Dengeleme Yöntemleri

Var olan ya da yeni üretilen işlerin çalışma birimlerine tek bir merkez üzerinden aktarıldığı yöntemlerdir. Merkezi bir çalışma biriminin, işleri uç çalışma birimlerine dağıtması ve işini bitiren düğümlere mevcut işlenmemiş işlerin ataması ile gerçekleştirilebileceği gibi tüm çalışma düğümlerinin çalıştıracakları işleri merkezi bir iş havuzundan talep etmeleri ile de gerçekleştirilebilir.

Bu yöntem ile iş birimlerinin, ortada işlenmeyi bekleyen bir iş olduğu sürece hiçbir zaman boşta beklememeleri sağlanmış olur. Bunun için, iş biriminin iş kuyruğunda bulunan mevcut iş miktarının, önceden belirlenen bir eşik değerinin altına düşmesi ile merkez düğümden ya da havuzdan yeni iş talep etmesi eylemi tetiklenmektedir. Bu yöntem beraberinde, merkezi iş düğümünün çalışmasının problem çözümünden bağımsız olmasını getirir. Bu da, bir iş düğümünün sürekli olarak problemden bağımsız çalışmasını ve toplam hızlanma ve etkinlik gibi paralellik ölçütlerinin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır.

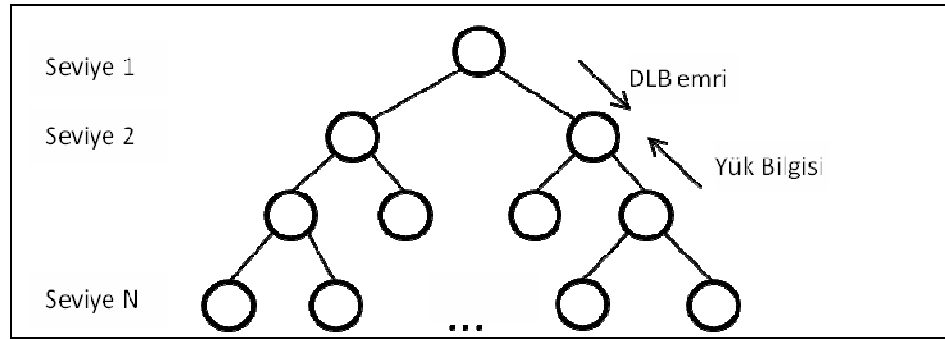
Beraberinde getirdiği performans kısıdının haricinde, merkezi yöntemler düşük ölçeklenebilirliğe de sahiptir. İş düğümlerinin oluşturduğu ağ yapısı büyüdükçe, merkezi düğüm hem ağ bağlantısı yönünden hem de işlem kapasitesi yönünden darboğaz oluşturmakta ve merkezi yöntemlerin performans üzerindeki olumsuz etkisini daha da artırmaktadır [3]. Ancak, tüm performans engellerine rağmen kolay

programlanabilmesi ve karmaşık olmayan yapısı ile birçok sistemde kolaylıkla uygulanmakta ve kullanılmaktadır.

2.2.2 Hiyerarşik Yük Dengeleme Yöntemleri

Bu yapıda tüm işler ana işlem düğümü tarafından yönetici olarak işlem gören çalışma düğümleri arasında paylaştırılır. İşlerin pay edildiği yöneticiler ellerindeki işi yük durumlarına göre emirleri altında bulunan çalışma düğümlerine iletirler. İşlem sonunda oluşturulan veri önce yöneticilerde toplanır, daha sonrada da ana işlem düğümüne aktarılır. Oluşturulan bu yapı hiyerarşik bir yönetim oluşturmaktadır.

Hiyerarşik DYD’de amaç, yükün hiyerarşik yapının kolları arasında eşit olarak dağıtılmasının sağlanmasıdır. Bunun için hiyerarşik yapının yüksek numaralı seviyelerinde bulunan ve birbirine doğrudan ya da dolaylı olarak bağlanmış iş düğümlerinin birbirlerine iş iletmeleri yeterli olacaktır. İş iletimi, işin hiyerarşik yapıda en son seviyelerden üst seviyelere doğru taşınması ve buradan tekrar yükün çalıştırılacağı son seviyelere indirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Örnek bir hiyerarşik yapı Şekil 2.2’de resmedilmiştir.



Şekil 2.2 Hiyerarşik Yük Dengeleme Yapısı

Hiyerarşik yük dengeleme işleminde diğer yöntemlerden farklı olarak, iş verisi iletimi yerine çalışma düğümü iletimi de gerçekleştirilebilmektedir [3]. Bunun için yoğun çalışan yönetici düğüme, boş durumda olan yönetici düğümlerinden, çalışma düğümü transferi yapılır. Transfer işlemi yönetici düğümde var olan alt düğüm tablosunun güncellenmesi ile gerçekleştirilir. Hesaplama sırasında veri birleştirme işlemi sırasında eşleme gerçekleştiren bu yöntem, büyük veri iletimi yerine küçük bir tablo güncellemesi gerektirdiği için çok daha hızlı bir yük dengeleme işlemi

sağlamaktadır. Bu yöntem için geliştirilen ana düğümün görevlendirme algoritması Kod 2.1’de gösterilmiştir. Ana düğüm burada, elinde var olan işleri sıraya koyup altında bulunan yönetici düğümlere göndermektedir. Tüm görevlerin bitmesi durumunda sistemi çalışmasını durdurmaktadır, aksi halde ise yük dengeleme işlemini başlatmaları için yönetici düğümleri tetiklemektedir.

```
Ana_düğüm_görevlendirme(){
    while(eşlenmemiş){
        Sıradan görev seç
        Boş yöneticiye görevi ata
        Yeni iş üretilmiş ise sıraya koy
    }
    if(eşlenmiş && görevler bitmiş){
        Yönetici düğümleri durdur
    }else{
        Görev bekleyen yönetici düğümlere boşa
        beklet mesajı gönder
    }
}
```

Kod 2.1 Ana Düğüm Çalıştırma Algoritması Sözde Kodu

```
Yönetici_çalıştırma(){
    while(görev alınmış){
        Görevi sıraya koy
        Sıradaki görevi uç çalışma düğümüne ata
        Görev sonucu üretilmişse al
        Sonucu ana düğüme gönder
    }
    if(boşa beklet alındı){
        Uç düğümlerin sahipliklerini yeniden
        belirle
        Uç düğüm tablosunu güncelle
    }
    else if(durdur alındı){
        Uç çalışma düğümlerini durdur
    }
}
```

Kod 2.2 Yönetici Düğüm Çalıştırma Algoritması Sözde Kodu

Yönetici düğümlerin görevlendirme ve çalışma algoritması Kod 2.2’de verilmiştir. Burada ana düğümden iş alındığı sürece aldığı işleri işleyen yönetici düğüm, “iş mesajı” yerine periyodik olarak gönderilen “boşta beklet” mesajını aldığı takdirde, diğer yöneticilerle uç çalışma düğümü transferi gerçekleştirmektedir. Bu işlem için öncelikle elindeki tüm çalışma düğümleri ile olan bağıyı koparmaktadır. Daha sonra tüm yönetici düğümler, yük durumları ile orantılı olarak çalışma düğümü alımı gerçekleştirilir. Bu noktadan sonra tüm yönetici düğümler çalışmalarına kaldıkları yerden devam ederler.

```

Uç_düğüm_çalıştırma(){
    while(görev alınmış){
        Görevi çalıştır
        Sonucu yöneticiye gönder
    }
    if(yeni yönetici atandı){
        Yönetici güncelle
    }else if(durdur alındı){
        Çalışmayı durdur
    }
}

```

Kod 2.3 Uç Düğüm Çalışma Algoritması Sözde Kodu

Uç çalışma düğümleri, bağlı bulunduğu yönetici düğümden iş aldığı sürece işi çalıştırmakla yükümlüdür. Bağlı bulunduğu yöneticinin güncellenmesi (yük dengeleme) durumunda ise bünyesinde kayıtlı olan yönetici düğüm bilgisini güncellemektedir. Uç çalışma düğümlerinin çalışma algoritması Kod 2.3’de verilmiştir.

2.2.3 Dağıtık Yük Dengeleme Yöntemleri

Dağıtık yük dengeleme yaklaşımlarında, karar stratejisinin belirlenmesi sorumluluğu düğümler arasında pay edilmektedir. Her düğüm elinde bulunan fazla yükün gideceği hedef düğümü belirlemek ve yükün gönderilmesi işlemini gerçekleştirmekle yükümlüdür. Bu noktada ortaya konulan ayırım ise, iş biriminin elinde bulunan fazla yükün nihai hedefinin karmaşık algoritmalar kullanılarak tespit

edilmesinin ne derece gerekli olduğu ile alakalıdır. Eldeki yükün gideceği son çalışma düğümünü belirleyip bu düğüme iletimi gerçekleştirmek, yük dengesizliğine doğrudan bir çözüm getirmektedir. Ancak bu yaklaşım, iş düğümünün çalışma süresinin ciddi bir oranda artmasına neden olabilmektedir.

Bir diğerk yaklaşım da fazla yükün doğrudan komşuları arasında belirlenen bir mantık çerçevesinde iletilmesi işlemidir. Böylelikle hem topolojik olarak iş düğümüne en yakın ve en hızlı etkileşime girecek düğüm ile irtibat kurulmuş olmakta, hem de hedef belirleme işlemi kısa sürede sonlandırılmaktadır. Ancak bu yaklaşım beraberinde, yük dengesizliklerinin birden çok ardıl adımda çözülebilmesini getirmektedir.

Bu çerçevede, dağıtık yük dengeleme yöntemleri kendi içlerinde doğrudan yük dengeleme ve ardıl yük dengeleme olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

2.2.4 Doğrudan Yük Dengeleme Yöntemleri

Doğrudan yük dengeleme yöntemlerinde, var olan fazla iş yükünün gönderileceği son iş düğümü doğrudan belirlenerek, yük iletimi gerçekleştirilmektedir. Tez kapsamında, var olan doğrudan dinamik yük dengeleme yöntemlerinden bazıları incelenmiştir.

2.2.4.1 Dinamik Eşik Değerli Nesne Tabanlı Yük Dengeleme

Algoritması

Bu doğrudan dinamik yük dengeleme algoritmasında veri parçalama ve metot kopyalama temel alınarak veri paralel ve nesne tabanlı bir paralel sistem ortaya konulmuştur [5]. Yük dengeleme, bölüm nesneleri olarak adlandırılan, dengelenmesi gereken fazla işleri ve her çalışma biriminde kopyalanmış olarak bulunan metotları içeren nesnelerin, çalışma düğümleri arasında dinamik olarak belirlenen eşik değerine ve ortaya konan yeni bir hedef bulma algoritmasına göre iletilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Yük dengeleme işleminin gerekliliğine ve hangi düğümler arasında yapılacağına dinamik olarak belirlenen eşik değerleri ile karar verilmektedir.

Gönderici düğüm tarafından başlatılan dinamik yük dengeleme işleminde düğümlerinin güncel yük durumlarının tespiti için, o anda üzerlerinde çalışan iplik (thread) sayıları kullanılırken, oluşan yük bilgilerinin iletimi periyodik bilgi iletişim politikası kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Bu yaklaşımın kullandığı karar verme mantığı, her düğümün bünyesinde bulunan ve periyodik olarak güncellenen yerel yük tablosu üzerinden çalıştırılmaktadır. Yerel yük tablosunda bulunan yük değeri üst eşik seviyesinin (T_s) üzerinde olan düğümler verici düğüm olarak işaretlenirken, yük değeri alt eşik seviyesinin (T_R) altında olan düğümler ise alıcı düğüm olarak işaretlenmektedir. Yük seviyesi, iki eşik değeri arasında kalan düğümler yük dengeleme işlemine katılmayacak düğümler kümesini oluştururlar.

Verici düğümlerin çalıştırdığı yük dengeleme algoritması tüm sistemde aynı olan yerel yük tablosunu kullandığı için tüm verici düğümlerin tek bir alıcı düğüm üzerinde yoğunlaşması gibi istenmeyen durumlar engellenmiştir. Ayrıca bu yapıda çok yüklü verici düğümden az yüklü verici düğüme doğru bir öncelik sıralaması bulunmaktadır. Böylelikle her düğüm kendine en uygun düğüm ile iletişime geçerken bir alıcı düğüme gereğinden fazla verici düğüm tarafından yük dengeleme talebi gerçekleştirilmemiş olmaktadır.

```
while(yükn(n) > Ts) {
    Alıcı ve verici kümelerini yeniden oluştur
    Salıcı(n) = {i | yükn(i) < TR}
    Sverici(n) = {i | yükn(i) ≥ Ts}
    Alıcı kümesindeki en az yüke sahip alıcı ile Verici
    kümesindeki en çok yüke sahip vericiyi belirle
    {alıcı, verici}
    if(verici = n){
        Yük dengele
    }
}
```

Kod 2.4 Hedef Belirleme Algoritması Sözde Kodu

Hedef belirleme algoritmasının özetlendiği Kod 2.4' de belirtildiği üzere iş düğümü, gönderici özelliğe sahip olduğu sürece kendi bünyesindeki alıcı ve verici

kümelerini güncel tutmakla yükümlüdür. Bu işlem sonrasında elde edilen iki kümeden, en yüksek iş yüküne sahip verici düğüm ile en düşük iş yüküne sahip alıcı düğüm belirlenmektedir. Eğer belirlenen verici düğüm, iş düğümünün kendisi ise yük dengeleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Aksi halde kendi yük dengeleme işlemini gerçekleştirene kadar, iş düğümü bünyesinde bu işleme devam edilmektedir.

Alıcı, verici gibi kümeleri belirleyerek dinamik yük dengeleme işleminin gerçekleştirilmesini sağlayan eşik değerinin dinamik bir özellik kazanmaması, tüm sistemin yüklü olması ya da tüm sistemin az yüklü olması durumlarında dinamik yük dengeleme algoritmasının etkin çalışmamasına neden olacaktır. Bunu önlemek için eşik değerleri tüm sistem yüküne bağlı olarak dinamik olarak artırılıp azaltılmaktadır. Tüm sistem düğümlerinde aynı eşik değeri belirleme algoritması çalışmakta ve böylelikle her düğümde, genel sistem ile tutarlı yük dengeleme işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Alıcı ve verici kümelerinin eleman sayısı kontrol edilmekte ve eşik değerleri bu kümelerin sürekli dolu kalmasını sağlayacak şekilde düzenlenmektedir.

```

if (yükn(n) ≥ Ts) {
    Alıcı belirle
    if (hedef yok) {
        Ts++
        TR++
        Alıcı ve Verici kümelerini yeniden oluştur
    } else {
        Yük dengele
    }
} else if (verici kümesi boş && TR > Minimum Eşik) {
    Ts--
    TR--
    Alıcı ve Verici kümelerini yeniden oluştur
}
}

```

Kod 2.5 Dinamik Eşik Değeri Belirleme Algoritması Sözcük Kodu

Dinamik eşik değeri belirleme algoritması Kod 2.5’de verilen dinamik eşik değeri belirleme algoritmasına göre üzere tüm düğümler, eşik değeri belirleme işlemini, sistemin o anki yük durumuna göre adaptif bir şekilde gerçekleştirirler. Sistemin genel yük durumu aşırı yüklü konumdaysa sahip olunan eşik değerleri belirli sınırlar dahilinde düşürülmekte, aksi durumda ise tüm eşik değerleri belirli sınırlar dahilinde yükseltilmektedir. Böylelikle her durumda alıcı ve verici listeleri dolu tutulmaya çalışılmaktadır. Böylelikle yükün gönderilebileceği bir hedef düğüm her durumda seçilebilmekte ve yük dengeleme işlemi gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Dinamik eşik değerli nesne tabanlı yük dengeleme algoritmasında, yük dengeleme işleminin son adımı olan yük iletimi işlemini gerçekleştirmek için bölüm nesneleri transferi gerçekleştirilmektedir. Transfer sırasında sadece veri iletimi gerçekleştirilmektedir. Verinin işlenmesini sağlayacak olan metotlar hali hazırda tüm düğümler arasında kopyalanmış olarak bulunduğu için iletilmemektedir.

2.2.4.2 Öngörüye Dayalı Nesne Tabanlı Dinamik Yük Dengeleme Algoritması

Bu yöntem de bir önceki yöntem gibi, veri parçalama ve metot kopyalama işlemlerine dayanan bir nesne tabanlı paralel sistemde çalıştırılmak üzere tasarlanmıştır [6]. Bir önceki yaklaşımdan farklı olarak hedef düğüm belirleme işleminde, her düğümün metotlarının çalışma sürelerinin gözlenmesi sonucu istatistiksel bir sonuç ortaya konup bu doğrultuda bir sonraki adımda en az işe sahip düğümün öngörü yolu ile saptanması sağlanmaktadır. Bunun haricinde iletilecek verinin işlem hızı ile gönderim hızları karşılaştırılarak ortaya koyacağı ağ yüküne göre gönderim işleminin yararlılığı test edilmektedir.

Gönderici düğüm tarafından başlatılan dinamik yük dengeleme işleminde düğümlerinin güncel yük durumlarının tespiti için, işlenmeden beklemekte olan bölüm nesnelerinin sayısı ve her bir işin hesaplanması için öngörülen zaman kullanılırken, oluşan yük bilgilerinin iletimi periyodik bilgi iletişim politikası kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Algoritma, karar verme aşamasında çalışma düğümünde çalışan tüm metotların geçmiş bilgisi tutarak elde edilen istatistiksel yaklaşım ile bir sonraki metodun

çalışma süresini tahmin etmeye çalışmaktadır. Bu işlem çalışma zamanı bilgisinin oluşturulması ve gelecek davranış öngörüsünde bulunulmasından oluşan iki adımda gerçekleştirilir.

İşlerin etkin çalışma zamanları (T_{eff}) ve iş yüklerinin boyutları (L_{eff}), algoritmanın çalışması süresince saklanmaktadır. Böylelikle elde edilen geçmiş çalışma süreleri bilgileri doğrultusunda (T_{eff}, L_{eff}) ikililerinden oluşturulan dizi elemanları doğrusal regresyon yaklaşımı ile genellenerek çalışma süresinin tahmin edilebileceği bir denklem elde edilir. Elde edilen denklem yardımı ile o anki yükün boyutu (L_{eff}) kullanılarak bir sonraki olası çalışma zamanı (T_{eff}) hesaplanabilmektedir.

Bu doğrultuda elindeki yük miktarı belirli bir eşik seviyesini aşan düğümler yüklerini verebilecekleri hedefi, hedeflerin olası yüklerini öngörerek saptamaktadırlar. Hedef olarak belirlediği çalışma düğümü ile veri iletişimine başlamadan önce göndereceği verinin ağ üzerinde ortaya koyacağı yükü hesaplayan gönderici düğüm, göndereceği verinin hedefte çalıştırılması durumunda harcanacak zamanın, olası ağ iletim zamanından fazla olması durumunda yük dengeleme işlemi gerçekleştirmemektedir.

Ağ yükünün hesaplanması için (2.4)'te yer alan formül kullanılmaktadır. Bu formülde, L ağ gecikmesin,, D veri büyüklüğünü, B ise bant genişliğini ifade etmektedir. Böylelikle toplam yük, ağ gecikmesi ile aktarılabilecek tüm verinin iletim süresinin toplamından elde edilmektedir.

$$Yük = L + D/B \quad (2.4)$$

Öngörüye dayalı nesne tabanlı dinamik yük dengeleme algoritmasında, yük dengeleme işleminin son adımı olan yük iletimi işlemini gerçekleştirmek için bölüm nesneleri transferi gerçekleştirilmektedir. Transfer sırasında sadece veri iletimi gerçekleştirilmektedir. Verinin işlenmesini sağlayacak olan metotlar hali hazırda tüm düğümler arasında kopyalanmış olarak bulunduğu için iletilmemektedir.

2.2.4.3 Alıcı Tarafından Başlatılan Dinamik Yük Dengeleme Algoritması

Yük dengeleme işleminin kimin tarafından başlatılacağı kararı, dağıtık yük dengeleme yaklaşımlarının başarımlarında etkileyici bir unsurdur [2]. Yük dengelemenin fazla yüke sahip düğüm tarafından ya da boştaki düğüm tarafından başlatılması, yük dengesinin sağlanması için gerekli mesajlaşma sayısında önemli değişikliklere neden olabilmekte ve işlem hızını belirgin bir biçimde etkileyebilmektedir [7]. Bu bölümde incelenen yaklaşım, dengeleme işleminin boştaki düğüm tarafından başlatılmasını sağlamakta, böylelikle iletilecek işin parçalanması ve yoğun düğümün belirlenmesi işlemlerini ön plana almaktadır [7].

Alıcı tarafından başlatılan yük dengeleme işlemi, işini bitiren her bir düğümün kendisi için en uygun vericiyi periyodik olarak yollanan yük durumu bildirim mesajları ile tespit etmesi ile yük transferi safhasına geçer. Yük verisi olarak düğümlerde çalıştırılan en son işin çalışma süresi göz önüne alınmaktadır. Buradaki amaç uzun süren işlemlerin bulunduğu iş düğümündeki diğer işlerin de uzun zaman alacak işler olduğu varsayımından yola çıkarak olabilecek yük dengesizliklerinin önüne geçebilmektir.

Her düğüm, çalıştırdığı işlerin başlangıç ve bitiş sürelerini bir merkeze yollayarak, yine o merkezden yük yoğunluğuna göre azalarak sıralanmış olan düğümlerin yük durum tablosunu alırlar. Tek merkez üzerinden yük yoğunluğu takibi yapılması çalışma düğümü sayısının artışı ile genel işleyişi yavaşlatmakta ve bu yöntemin ölçeklenebilirliğini kısıtlamaktadır.

Bu yaklaşımda, hedef seçimi kadar görevin parçalara ayrılmasına da önem verilmektedir. İşin küçük parçalara ayrılması, iş düğümlerinin, her işin sonlanmasından başlayarak yeni işin işletilmesine kadar geçecek zamanda oluşacak kayıptan ötürü paralel sistemin etkiliğini azaltıp, işlemin hesaplanması için gerekli düğüm sayısını artırmaktadır [7]. Büyük iş parçalarının kullanımı ise yük dengesizliğini artırarak paralel sistemin hızlanmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle iş bölümü için dinamik bir mekanizma oluşturulmuştur. Bu mekanizma iş bölümü ve yük dengeleme ihtiyaçları arasından en uygun noktayı bulup görev parçalamayı ihtiyaca göre en uygun şekilde gerçekleştirilmektedir.

Verici düğümlerin çalıştırdığı dinamik mekanizma basit iş oluşturmanın da önüne geçerek boşa bekleme durumunu ve dolayısı ile verici düğümün iş yükü bakımından kıtlık çekmesini engellemektedir. Bunu verici düğümün iş havuzu için tanımlanan iş havuzunda olabilecek en az iş sayısı değerini tutan bir eşik değeri ile sağlar. Ayrıca iş havuzuna eklenecek işlerin kolay iş olarak tanımlanacak işler olmasını önlemekte ve paralel sistemin etkinliğini artırmaktadır.

Alıcı tarafından tetiklenen algoritmada, yük dengeleme işleminin son adımı olan yük iletimi işlemini gerçekleştirmek için, her düğümün kendi yerelinde tuttuğu ve işlenmemiş görevlerden oluşan bir iş havuzu kullanılmaktadır. Böylelikle herhangi bir çalışma düğümünün çalıştırdığı iş sonlandırıldığında yeni görev alma, başka bir düğüme görev yollama ve de elindeki görevi işleme süreleri örtüşmekte ve böylece paralel sistemin hızlanmasına destek sağlanmaktadır. Bu durum alınan ilk ve son görevler haricinde iletişim yükünü etkisini en aza indirmektedir. Veri transferi işlemi, yoğun durumdaki düğümlerin başlatmamış olduğu ve iş kuyruğunda beklettiği işlerin iletimi ile gerçekleştirilir.

Bunların haricinde, her düğüm verdiği görevin takibini gerçekleştirmekle sorumlu tutulmaktadır. Gönderilen görevin sonlandırılması takip edilerek olası ağ sorunlarından kaynaklanacak veri kaybolması gibi sorunlar önlenmektedir.

2.2.5 Ardıl Yük Dengeleme Yöntemleri

Ardıl dinamik yük dengeleme algoritmaları, iş yükü dağılımının, genel en iyi dağılımının ardışık tahminleri üzerinden iş görmektedir. Bu nedenle her adımda iş yükü aktarımını belirli boyutlarda ve sınırlar dâhilinde gerçekleştirirler. Fazla iş yükünün ulaştırılacağı son noktadan çok, o an için iş yükünün bulunması gereken en iyi iş düğümünü, komşu düğümler arasından bularak iş yükü iletiminin gerçekleştirilmesini sağlarlar.

Bu yapı, fiziksel olarak dağıtık yapıda ve belirli komşuluk mantığı ile birleştirilmiş çeşitli topolojilerdeki hesaplama sistemlerinde, komşular arası iletimin, doğrudan komşuluğu olmayan düğümlere göre hızlı yapılması dolayısı ile iletimde zamandan kazanç sağlamaktadır.

3 ARDIL DİNAMİK YÜK DENGELEME YÖNTEMLERİ

Ardıl dinamik yük dengeleme algoritmaları genel olarak iki grupta sınıflandırılabilirler. Birinci sınıfı oluşturan difüzyon tekniği, boyut değişimi tekniği ve eğim tekniği gibi belirlenimci yaklaşımlar, iş yükü iletimini belirli kurallar dâhilinde gerçekleştirirler. Böylece iş düğümünün o anki durumuna göre, fazla işin ne kadarının hangi düğümlere aktarılacağı kurallar ile belirlenmiş olmaktadır. Rastsal dağıtım ve benzetilmiş tavlama gibi teknikleri içerisinde barındıran tesadüfî yaklaşımlar ise üretilen iş yükünün rastgele dağıtılması prensibi ile çalışmaktadır. Kurallardan bağımsız olan bu yapı belirlenimci yaklaşımlardan daha az karmaşık olmasına karşın modellenmesi ve analizinin gerçekleştirilmesinde zorluklarla karşılaşmaktadır.

3.1 Tesadüfî Yaklaşımlar

Tesadüfî yaklaşımlar, üretilen iş yükünün yük dengeleme işleminin amacına uygun olarak rastgele dağıtılması prensibi ile çalışmaktadır. Gerçekleştirilen rastsal dağıtım hiçbir önceden tanımlanmış kurala bağlı bulunmamaktadır. Tesadüfî yaklaşımlar, rastsal dağıtım tekniği ve benzetilmiş tavlama tekniği ile örneklendirilebilir.

3.1.1 Rastsal Dağıtım Yöntemi

Rastsal dağıtım tekniği uygulamalarında iş yükleri üretildikçe, gönderilecekleri hedef düğümler rastgele belirlenirler. İş yükünü alan çalışma düğümü, o anki yük durumuna göre iş paketini çalışma sırasına koyabileceği gibi hiç sıralamadan yine rastsal olarak belirlenen bir başka düğüme gönderebilmektedir. Bu özelliği ile rastsal dağıtım yöntemi, yükün iletildiği düğümden çalıştırılacağı varsayılan doğrudan yöntemlerden farklılık arz etmektedir.

Bu tekniğin çözümlemesi gereken iki temel unsur bulunmaktadır. Bunların ilki bir işin maruz bırakılacağı en yüksek sayıdaki iletimin belirlenmesidir. Bunun için “iletim sınırı” adıyla anılan bir eşik değeri kullanılmaktadır. Bu parametre ile bir iş

yükünün yük dengeleme mantığı kullanılarak dolaşabileceği en fazla çalışma düğümü sayısı belirlenmektedir. Böylelikle işlemcilerin iş paketlerini işlemek yerine sürekli olarak iletmelerinin önüne geçilmiş ve kıymetli işlem zamanı korunmuş olmaktadır. Yoğun yüke sahip sistemlerde bu parametrenin bir olarak atanması durumunda sistemin çok az bir iletim yükü ile yük dengelemesi gerçekleştirdiği gözlenmiştir [12]. Bu durumda, rastsal dağıtım yöntemi bizim sınıflandırmamıza göre bir doğrudan DYD yöntemine dönüşmektedir.

Bir diğer unsur ise, iletimin doğrudan komşu düşümler arasında mı yoksa tüm düşümleri kapsayacak şekilde mi yapılacağı sorusudur. İletimin tüm sistemi kapsadığı genel rastsal yük dağılım algoritmalarının, iletimin doğrudan komşular arasında gerçekleştiği yerel rastsal yük dağılım algoritmalarına göre daha etkin çalıştığı gözlenmiştir [12].

3.1.2 Benzetilmiş Tavlama Tekniği

Benzetilmiş tavlama, istatistiksel fizikten türetilmiş ve tümleşik en iyileme problemlerinde kullanılan bir tekniktir. Bu teknik temel olarak, problem etki alanının yavaş yavaş kararlılık seviyesine (en iyi çözüm) oturtulmasını amaçlar. Problem çözümlerine, önce yüksek sıcaklıkta, yüksek enerji seviyesi değişiklikleri yaptırılmakta, daha sonra sistem soğutularak elde edilen kararlı hal olgunlaştırılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda, o ana kadar elde edilen iyi çözümlerden daha kötü çözümlere geçişe izin verilmekte ve yerel en iyi çözümlerden kaçınılmaktadır.

Bu mantığın dinamik yük dengeleme işleminde uygulanması ile amaçlanan, diğer rastsal tekniklerin aksine, yerel en iyiyi değil genel en iyiyi bulabilmektir. Ancak benzetilmiş tavlama işleminin ağır bir işlem yüküne sahip olması nedeni ile yük dengeleme mantığının tek makinede koştugu merkezi sistemlerde istenen etkinliği sağlayamamaktadır.

Ağır iş yükü getiren, yük dengeleme mantığının sistem geneline yayılarak gerçekleştirilmesini öngören dağıtık yapılarda ise, her işlem düğümünün ayrı sistem yükü dağılımı ortaya koyması nedeni ile yüklerin işlenemeyecekleri ve depolanamayacakları düğümlere aktarılarak veri kayıplarına neden olunabilmektedir.

Bu olumsuz durumun aşılması amacıyla, iş yükü iletim kararlarının alınmasından sonra gerçekleştirilen “geri sarma” işlemi kullanılmakta ve olası veri çarpışmaları önlenabilmektedir. Ancak geri sarma işlemi hali hazırda ağır bir iş yükü getiren benzetilmiş tavlama tekniğini daha ağır ve zaman alan bir süreç haline getirmektedir.

Sonuç olarak pratikte uygulaması zor olan bu sistem, yeterli büyüklükteki ilk ısı değeri ve yeterli küçüklükteki ısı değişimi parametresi ile genel en iyi iş yükü dağılımlarına karar verebilmektedir [13].

3.2 Belirlenimci Yaklaşımlar

Belirlenimci yaklaşımlar, iş yükü iletimini belirli kurallar dâhilinde gerçekleştirirler. Yük dengeleme işlemi gerçekleştirilecek iş düğümlerinin o anki durumuna göre, fazla işin ne kadarının, hangi düğümlere aktarılacağı kurallar ile belirlenmiştir.

3.2.1 Temel Belirlenimci Yaklaşımlar

Difüzyon yaklaşımı, boyut değişimi yaklaşımı ve eğim yaklaşımından oluşan temel belirlenimci yöntemler, günümüzde halen kullanılan ardıl yöntemlerin kaynağını oluşturmaktadır. Bu yöntemler aynen alınarak ya da temel olarak kullanılarak, çeşitli ardıl dinamik yük dengeleyici algoritmalar tasarlanabilmektedir.

3.2.1.1 Difüzyon Yaklaşımı

Difüzyon yaklaşımı (DY), bir iş düğümünün yük dengeleme ihtiyacı duyması durumunda doğrudan bağlantılı olduğu komşu düğümler ile tek bir adımda iş yükü iletiliminde bulunmasına dayanarak genel sistemin ya da yerel komşulukların, iş yükü bakımından daha dengeli hale getirilmesini amaçlayan bir yaklaşımdır [4]. Yük dengeleme işlemine ihtiyacı olan iş düğümü, tek bir ardıl işlem adımında, doğrudan komşularından bazılarına iş yükü aktarımı gerçekleştirirken geri kalan doğrudan komşularından iş yükü alımı gerçekleştirebilmektedir.

Difüzyon yaklaşımının, her işlem biriminin komşularına göndereceği yük miktarını gösteren model denklem (3.1)’ de gösterilmiştir. Burada w_i^t , i işlem düğümünün t anındaki yükünü, α_{ij} ise i ile j iş düğümleri arasında aktarılacak iş

miktarını belirten katsayısını , η_i^{t+1} i düğümünde $t+1$ anında üretilecek iş yükünü, θ_i^{t+1} ise yine i düğümünde $t+1$ anında işlenip sonlandırılacak iş yükünü ifade etmektedir. Difüzyon yaklaşımı, α_{ij} parametresinin değerine göre ikiye ayrılmaktadır. Ortalama bir α_{ij} parametresi kullanan yaklaşıma “yerel ortalama difüzyon” (ADF, Local Average Diffusion) adı verilirken, topolojiye göre değişiklik gösteren α_{ij} parametresi kullanan yaklaşıma ise “en iyiye ayarlanmış difüzyon” (ODF, Optimally-tuned Diffusion) adı verilmektedir.

$$w_i^{t+1} = w_i^t + \sum_{j \in A(i)} \alpha_{ij} (w_j^t - w_i^t) + \eta_i^{t+1} - \theta_i^{t+1} \quad (3.1)$$

Difüzyon yaklaşımında yük dengeleme için gerçekleştirilecek yineleme adımları tüm sistemde eşzamanlı bir şekilde yapılabileceği gibi zaman uyumsuz yöntemler ile de gerçekleştirebilmektedir [2]. Ancak yük bilgisinin güncelliği konusunun ciddi bir problem oluşturması nedeni ile tüm zaman uyumsuz yöntemlerde sonuca ancak iletim gecikmesini sınırlandırarak ulaşabilmektedir. Eşzamanlı yöntemlerdeki gecikmeler ise işlem düğümlerinde uygulanan ve işlem düğümünün o yineleme adımındaki yük dengeleme işlemine katılıp katılmayacağını belli eden bir mantık ile aşılabilmektedir.

3.2.1.2 Boyut Değişimi Yaklaşımı

Bu yaklaşımda her işlem düğümü bir süpürme olarak tanımlanan işlemi uygulayarak sırası ile tüm boyutlarındaki komşuları ile veri alışverişinde bulunmaktadır. Bu sayede sistemdeki işlem yükünün dengelenmesi amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım özellikle kare ve küpün d boyuta genelleştirilmiş hali olan hiperküp (hypercube) yapısında, difüzyon yöntemine göre çok daha üstün bir performans sağlamakta ve iş yükünün daha dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktadır [4].

Boyut değişimi yaklaşımında (BDY) difüzyon yaklaşımından farklı olarak tüm işlemciler istisnasız olarak eşzamanlı yük dengeleme uygulamak zorundadırlar. Bunun nedeni tüm sistemin yük durumunun dengelenmesi amaçlandığında, tüm işlem birimlerinin aynı anda aynı boyuttaki komşular ile iletişimde bulunmasının gerekliliğidir. Böylelikle tüm sistem veri işlemeye ara vererek yük dengelemesinde

bulunur ve bir sonraki adıma kadar, olabilecek en etkin iş dağılımına yakın bir dağılım ile çalışmaya devam edebilirler. Bu zorunluluk, boyut değişimi yaklaşımının uygulama alanını, eşzamanlı işlemin yük getirmeyeceği küçük ve orta ölçekli sistemler ile sınırlandırmaktadır.

Yük dengeleme işleminde tüm sistemin yük durumunun eşitlenmesinden ziyade ihtiyaç duyulan yerel komşuluklar arası yük eşitliğinin amaçlandığı sistemler hedef alındığında boyut değişimi yaklaşımı eş zamanlı olmayan bir şekilde de kullanılabilir.

Boyut değişimi yaklaşımının tüm topolojik yapılarda uygulanabilmesini sağlayan model denklem (3.2)'de verilmiştir. Burada tüm sistemde ortak olarak kullanılan λ düğümler arasında aktarılacak iş yükü miktarını gösteren parametreyi ifade etmektedir. Bu modeli tüm topolojilerde kullanılabilir kılan özelliği λ değişkenidir. Bu değişken, düğümün komşu düğümlere aktaracağı veri miktarını belirlediği için, farklı topolojilere ve büyüklüklerine göre değiştirilerek yaklaşımın farklı ortamlara uyumu sağlanabilmektedir.

$$w_i^{t+1} = (1 - \lambda)w_j^t + \lambda w_i^t \quad (3.2)$$

Boyut değişimi yöntemi de difüzyon yöntemi gibi λ parametresinin aldığı değerlere göre ikiye ayrılmaktadır. Ortalama bir λ parametresi kullanan yaklaşıma “ortalama boyut değişimi” (ADE, Average Dimension Exchange) adı verilirken, topolojiye göre değişiklik gösteren λ parametresi kullanan yaklaşıma ise “en iyiye ayarlanmış boyut değişimi” (ODE, Optimally-tuned Dimension Exchange) adı verilmektedir.

3.2.1.3 Eğim Yaklaşımı

Bu yaklaşımda genel olarak tüm sistemi kaplayan ve iş yükü miktarlarını ifade eden bir yüzey oluşturulmaktadır. Bu yüzeyde yükseklik farklarına sebep olan iş yükleri arasındaki farklılıklar yüzeyin dengelenmesi ile giderilmeye çalışılmaktadır. Bu işlem sırasında tüm ardıl yöntemler gibi, tüm komşu düğümler, yük dengeleme işlemine tabi tutulsa da, diğer ardıl yöntemlerin aksine, tüm komşulukların ilettime katılması gerekmemekte, isteğe göre sadece çok yüklü ve az yüklü komşuların

katılımı ile de algoritma çalıştırılabilmektedir. Bu yaklaşımı kullanan iki yöntem bulunmaktadır.

Bunların ilki olan eğim modeli (GM, gradient model) ağır ve orta yüklü düğümlerin, düşük yüklü düğümlere yakınlık değerlerine ilişkin bir eğim yüzeyi oluşturulmasını amaçlamaktadır. Ancak dağıtık bir ortamda tüm işlem düğümlerinin yüklerinin belirlenmesi ve doğru yakınlık verilerinin elde edilmesinin güç ve maliyetli olması nedeni ile basınç yüzeyi olarak adlandırılan ve ilk yüzeyin varsayımlarından oluşturulan ayrı bir yüzey kullanılmaktadır. Basınç yüzeyi tüm sistemdeki iş düğümlerinin iş yükleri dağılımından elde edilen basınç yayılımını vermektedir. Basınç yüzeyi modeli denklem (3.3)'te verilmektedir. P basınç değerini gösterirken, i basıncı hesaplanan iş düğümünü, j ise i düğümünün doğrudan komşusu olan düğümleri ifade etmektedir. Düğümlerin kendileri için hesapladıkları P_i değerlerini doğrudan bağlı bulundukları komşularına göndermeleri sayesinde her düğüm komşulukları dahilindeki basınç yüzeyi bilgisine sahip olmaktadır. Bu bilgi uygulanan herhangi bir tetik mekanizması ile çalıştırılan yük dengeleme işleminin temel girdisini oluşturmaktadır.

$$P_i = \begin{cases} 0 & \text{hafif_yük} \\ 1 + \min(P_j) & \text{aksi} \end{cases} \quad (3.3)$$

GM yönteminde yük dengeleme işlemi, basınç yüzeyinden elde edilen veriler doğrultusunda sistemde bulunan en çok yüklü düğümden en az yüklü düğümlere doğru var olan en dik yüzeyden iş aktarımı gerçekleştirerek yapılmaktadır. Bu yöntemde kurallar sadece ağır yüklü düğümler ile hafif yüklü düğümler arasında veri iletimine izin verdiği için tüm sistemin çok ya da az yüklü olması durumlarında istenen sonuç alınamamaktadır. Bunu önlemek için yöntem geliştirilmiş ve xGM (Extended GM) adı ile düzenlenmiştir [8]. Bu yapıda, yük iletimi sadece ağır ve hafif yüklü düğümler arasında yapılmak ile kalmayıp, orta yüklü düğümler de aranmakta ve bu düğümler hafif yüklü düğüm olarak varsayılarak iletme tabi tutulmaktadır.

İkinci eğim yaklaşımı olan komşular arası sözleşme (CWN, contracting within a neighbourhood) yönteminde ise, bir iş düğümü, sadece kendine direk komşuluğu olan iş düğümlerinin iş yüklerini bilmektedir. Böylelikle bir önceki yaklaşımdan çok

daha kolay bir yük bilgisi dağılımı gerektirmekte ve bu bakımdan daha düşük maliyetle çalışabilmektedir [14].

Bu yöntemde bir düğüm komşularından en az birinden daha ağır bir iş yüküne sahipse elindeki işlerin belli bir miktarını o iş yüküne aktarır. Eğer bir düğüm komşularının hepsinden daha az iş yüküne sahipse alacağı işleri işlem sırasına koyup işler. Ancak kendisinden daha az iş yüküne sahip bir düğüm var ise, aldığı işleri iletim sırasına koyup bir sonraki ardışıl adımda komşusuna iletir. Böylelikle iş yükleri genel sistemde en çok yüklü taraftan en az yüklü tarafa doğru en dik iş farkı eğimi üzerinden aktarılır.

Yük iletiminin, elde edilecek düz bir eğim düzlemi nedeni ile gerçekleştirilememesini önlemek amacı ile minimum iş aktarımı sayısı ve yük dengeleme işinin döngüye girip sürekli yapılması ve verinin işlenmesinin gecikmesini önlemek için de maksimum iş aktarımı sayısı algoritma başlatılmadan önce sisteme belirtilmektedir. Bu değerlerin çalışma zamanında ayarlanması ile oluşturulan sisteme ise uyarlamalı komşular arası sözleşme (ACWN, adaptive contracting within a neighbourhood) yöntemi adı verilmektedir.

CWN ve ACWN yöntemleri esnek yapıları ve sistemde daha kolay uygulanmaları nedeni ile diğer eğim yaklaşımları olan CW ve xCW yöntemlerinden çok daha hızlı çalışmaktadırlar. Ayrıca eş zamanlı olmayan işlemlere uyumlulukları nedeni ile CWN ve ACWN genel sistemin çalışmasını durduracak bir eş zamanlama noktasına ihtiyaç duymamaktadır. Böylelikle sadece yük dengeleme işlemine ihtiyaç duyan düğümler ve komşuları arasında etkin ve dengeli bir iş yükü dağılımı gerçekleştirilebilmektedir.

3.2.1.4 Temel Ardıl Dinamik Yük Dengeleme Algoritmalarının Teorik Kıyaslaması

Yük dengeleme algoritmalarının karşılaştırılmasında, algoritmanın uygulandığı problemin ihtiyaçlarına göre genel olarak iki ölçüte dikkat edilmektedir. Birinci ölçüt gerçek zamanlı işlem yapan sistemlerde kritik öneme sahip olan “etkinlik” ölçütüdür [13]. Bu ölçütte esas alınan, yük dengeleme algoritmasının, sistemin yük durumunu ilk konumundan dengelenmiş konuma kaç iletişim adımında taşımakta olduğudur.

Etkinliği daha yüksek olan yük dengeleme algoritmaları sistemi daha hızlı bir şekilde dengeli hale geçirmektedir. İkinci ölçüt ise, uygulandığı sistem genelinde tam bir yük dengesi halinden çok, iş yüklerinin denk paylaştırılabilmesini amaçlayan “denge kalitesi” ölçütüdür [13]. Bu ölçütte esas alınan, işlem düğümleeri arasındaki yük farkının sınırlı düzeyde tutulmasıdır. Böylelikle sistem kaynaklarının atıl durumda bırakılması önlenerek, genel hızlanmanın yük dengesizliklerinden en az düzeyde etkilenmesi sağlanabilmektedir.

Yük dengeleme algoritmalarının karşılaştırılması için öncelikle yük dengeleme işleminin modellenmesi gerekmektedir. Bunun için, tüm problem kümesinin $G(V,E)$ çizgesi üzerine yerleştirildiğı varsayılmıştır [13]. Burada, V iş düğümleeri kümesini ve E iş düğümleeri arası var olan iletişim yolunu sembolize ederken $A(i)$ ise i . düğüme komşu olan düğümleerin kümesini göstermektedir. $I(t)$ kümesi t anında yük dengeleme işlemi yapan düğümleer kümesini ve ϕ_i^{t+1} iş düğümünün üreteceğı veya harcayacağı yük miktarını vermektedir. $f(.)$ ’nin de denklem (3.1) ve (3.2)’de verilen yük dengeleme mantıklarından birini gösterdiği yük modeli denklem (3.4) ve (3.5)’te verilmiştir.

$$w_i^{t+1} = \begin{cases} w_i^t + \phi_i^{t+1} & i \notin I(t) \\ f_i(w_i^t, w_j^t | j \in A(i)) & i \in I(t) \end{cases} \quad (3.4)$$

$$w_i^{t+1} = \begin{cases} w_i^t + \phi_i^{t+1} & i \notin I(t) \\ f_i(w_i^t, w_j^t | j \in A(i)) + \phi_i^{t+1} & i \in I(t) \end{cases} \quad (3.5)$$

Dinamik yük dengeleme işlemi esnasında herhangi bir yük üretimi ve tüketimi yapılmadığı varsayılan “durağan durum” denklem (3.4)’ de formüle edilmiştir. Sistemin tüm çalışma adımlarında yük üretimi ve tüketimi işleminin yapılabildiğı varsayılan “dinamik durum” ise denklem (3.5)’te formüle edilmiştir. İki model de model bağımsız yapıdadır. $f(.)$ değişkeni yerine, istenen belirlenimci yük dengeleme yaklaşımı kullanılabilmektedir.

Ortaya konan model [13]’te çeşitli koşullarda testlere tabi tutulmuştur. Test koşulları, yük üretiminin dinamik ya da durağan yapı göstermesi, iletişim tipinin tek kapıdan ya da tüm bağlantı kapılarından yapılabilmesi ve yük dengeleme işleminin

eş zamanlı ya da zaman uyumsuz olarak yapılabilmesine göre değişkenlik göstermektedir. Ortaya konulan sonuçlar Tablo 1 ve

Tablo 2’de gösterilmektedir [13]. Karşılaştırmalarda kullanılan $>$ operatörü, operatörün solunda bulunan yöntemin, sağdaki yönteme göre üstünlüğünü ifade etmektedir.

Tablo 1 Tek Kapıdan İletişim İle Yük Dengeleme İşlemi

	Durağan Yük Üretimi	Dinamik Yük Üretimi
Eş Zamanlı	$ODE > ADE > ODF \approx ADF$	$ADE > ADF$ $ADE > ODE$ $ADF > ODF$
Zaman Uyumsuz	$ADE > \{ADF, ODF\}$ $ADF > ODF$ (tek boyutlu yapıda) $ODF > ADF$ (çok boyutlu yapıda)	$ADE > \{ADF, ODF\}$ $ADF > ODF$ (tek boyutlu yapıda) $ODF > ADF$ (çok boyutlu yapıda)

Tablo 2 Tüm İletişim Kapılarının Kullanıldığı Yük Dengeleme İşlemi

	Durağan Yük Üretimi	Dinamik Yük Üretimi
Eş Zamanlı	$ODE > ADE \approx ODF \approx ADF$	$ADE > ADF$ $ADE > ODE$ $ADF > ODF$
Zaman Uyumsuz	$\{ADF, ODF\} > ADE > ODE$ $ADF > ODF$ (tek boyutlu yapıda) $ODF > ADF$ (çok boyutlu yapıda)	$\{ADF, ODF\} > ADE > ODE$ $ADF > ODF$ (tek boyutlu yapıda) $ODF > ADF$ (çok boyutlu yapıda)

Bu sonuçlara göre, tek kapılı iletişimde boyut değişimi yaklaşımının (En iyiye ayarlanmış boyut değişimi-ODE ve Ortalama boyut değişimi-ADE) difüzyon yaklaşımına (En iyiye ayarlanmış difüzyon-ODF ve Yerel ortalama difüzyon-ADF) göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Ayrıca bir boyut değişimi yaklaşımı olan ODE metodunun, durağan yük üretimli sistemlerde ve eş zamanlı yük dengeleme

işleminde en iyi ardıl dinamik yük dengeleme metodu olduğu göze çarpmaktadır. Bir diğer önemli sonuç ise tüm olası iletişim kapılarının kullanıldığı sistemlerde dahi eş zamanlı yöntemlerin tercih edilmesi durumunda boyut değişimi yaklaşımının üstünlüğünü koruduğudur. Bunun temel nedeni, tek kapı kullanımında difüzyon yaklaşımının tek üstünlüğü olan tek adımda yük dengeleme işleminin bir ardıl adımını sonlandırma yetisinin ortadan kalkmasıdır. Ayrıca boyut değişimi yaklaşımının, eş zamanlı modelde bir süpürme hareketi içerisindeki her adımda, bir boyutta yük dengelesi sağlayarak, süpürme hareketinin sonunda gerek komşuluk içerisinde gerekse de genel sistemde daha etkin bir yük dağılımına ulaşabilmesi, bir diğer neden olarak da verilebilir.

Difüzyon modeli (ODF, ADF) ise, zaman uyumsuz yük dengeleme işleminin, tüm olası iletişim kapılarından veri iletiminin mümkün olduğu sistemlerde üstün performans sergileyerek mevcut belirlenimci yük dengeleme yaklaşımları arasında en etkin yaklaşım olmuştur. Bu sonucun nedeni, difüzyon tekniğinin genel bir yük dengesi gerektirmeksizin yerel komşuluklarda tek bir adımda etkin sonuçlar doğurabilmesidir. Ayrıca difüzyon yaklaşımları arasında, tek boyutlu topolojilerde ADF üstünlük sağlarken, boyut sayısı arttıkça, farklı boyutlar ve farklı topolojiler için özel olarak ayarlanmış yük paylaşım parametresi içeren ODF'nin üstünlük sağladığı görülmektedir.

Yapılan karşılaştırmaya ek olarak, ardıl yöntemler alıcı tarafından başlatılma ya da verici tarafından başlatılmasına göre, kullandıkları bilginin yeterliliği ve güncelliğine göre ve dengelemeye çalıştıkları alanın boyutuna göre de kıyaslanabilirler [2].

Bu kıyaslama da alıcı tetikli yöntemler, verici tetikli yöntemlere göre daha başarılı olmaktadır. Bunun nedenleri, alıcı tetikli sistemlerin daha az sayıda DYD haberleşmesi ile yük dengeleme işlemini gerçekleştirebilmeleri, iletilecek yük miktarına doğrudan alıcının karar vermesi nedeni ile alıcı tarafında yaşanabilecek aşırı yüklenmelerin önlenmesi ve çok yüklü sistemlerde meydana gelen ve az sayıdaki alıcı düğümün verici düğümlerce aranması işleminin ihtiyacı duyulmaması, olarak gösterilebilir.

Kullandıkları verinin geçerliliği bakımından kıyaslandıklarında ise difüzyon, boyut değişimi ve hidrodinamik yöntemler, eğim yöntemine göre daha avantajlı görünmektedir. Çünkü eğim yönteminin aksine diğer yöntemlerde, doğrudan komşularının anlık bilgileri, bir sonraki ardıl adımdaki hedefi belirlemek için yeterli olabilmektedir. Eğim yönteminde ise veri akış yönü zaman içerisinde tüm sistemin yükü ile belirlenmekte ve yine zamanla değişime uğramaktadır. Sistemin büyüklüğüne göre, oluşabilecek değişikliklerin tüm sisteme yansıma süresi değişkenlik gösterecektir. Ani değişimlere ise cevap vermesi çok daha güç olacaktır.

Tüm yapılabilecek kıyaslamaların haricinde ardıl yöntemleri, doğrudan yöntemler ile kıyaslamamız gerekirse, hızları ve basitlikleri ile işlem zamanından tasarruf edilmesine katkıda bulunsalar da ardıl yöntemlerin ani yük talepleri karşısında doğrudan yöntemler kadar hızlı tepki veremedikleri gözlenmektedir.

3.2.2 Hidrodinamik Yaklaşım

Bir diğer ardıl yaklaşım olan hidrodinamik yaklaşımda (HY), her bir işlem birimi belirli bir kapasiteye (c) ve belirli bir yüke (l) sahip sıvı tankları olarak modellenmektedir. Dengelenmek üzere yüklerin düğümler arası iletimi işlemi ise, sıvı tankları arasında olduğu varsayılan sonsuz incelikteki borulardan sıvının akışı olarak modellenmektedir [9][10]. Her işlem biriminin kapasitesi, o işlem biriminin birim zamanda çalıştırabileceği iş miktarını ifade etmektedir.

Bu yaklaşımda amaçlanan, her bir sıvı tankının sahip olduğu potansiyel enerji hesaplanarak, tüm sistemin sahip olduğu toplam potansiyel enerjiyi en aza indirmektir. Bu işlem için öncelikle her iş düğümünün elindeki işin yüksekliğini (h) denklem (3.6)'da gösterildiği gibi hesaplamaktadır. Yükseklik dinamik yük dengeleme açısından, iş düğümünün elindeki işleri kendi kaynaklarını kullanarak bitirebileceği maksimum süreyi göstermektedir.

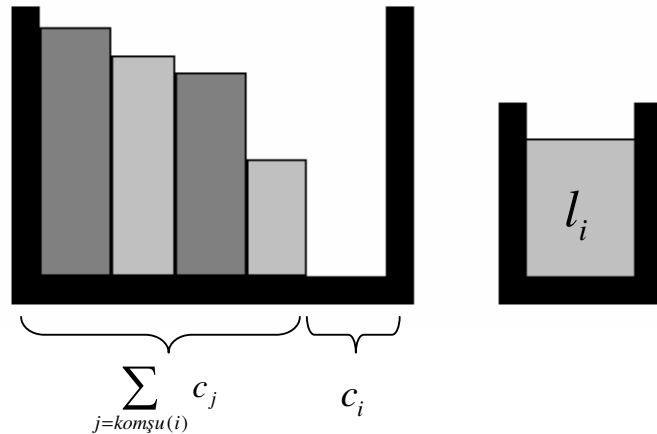
$$h = \frac{l}{c} \quad (3.6)$$

Elde edilen yükseklik hesabı kullanılarak, her işlem biriminin potansiyel enerjisi (PE) denklem (3.7)'den yararlanarak çıkartılmaktadır. Tüm potansiyel enerjilerin toplamı da tüm sistemin toplam potansiyel enerjisini (GPE) vermektedir.

$$PE = \frac{c \times h^2}{2} \quad (3.7)$$

Hidrodinamik yaklaşım ile tüm sistemin toplam potansiyel enerjisi, genel adillik düzeyine çekilmeye çalışılır [9]. Bu amaçla iş düğümünün doğrudan bağlantılı olduğu düğümler arasında bir potansiyel enerji sıralaması yapılarak yüksek potansiyel enerjiye sahip düğümlerden, düşük potansiyel enerjiye sahip komşu düğümlere iş akışı gerçekleştirilir. Ardıl yöntemlerin genelinde olduğu gibi burada da işin aktarıldığı düğüm, işin işleneceği nihai düğüm olmak zorunda değildir. İş, gerektiği takdirde, yük dengesizliğini önlemek amacı ile diğer komşu düğümlere aktarılabilir.

Potansiyel enerji seviyelerinin eşitlenmesi işlemini gerçekleştirebilmek için Hui ve Chanson, bir düğümün ve tüm doğrudan komşusu olan düğümlerin iş yüklerinin yerleştirileceği bir kabı modellemiştir. Bu kabın taban alanı, düğümün ve doğrudan komşularının kapasitelerinin toplamına eşittir. Her düğümün iş yükü, kabın tabanında düğümün kapasitesi kadar bir alan kaplayan katı kolon olarak ifade edilmektedir. Kolonların yükseklikleri düğümün iş yükünü kendi kaynaklarını kullanarak bitirebileceği süreyi göstermektedir. Katı kolonlar kaptaki yüksekliklerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Kaptaki sıralanan komşu iş yükseklikleri değerlerinin yanında, yük dengeleme işlemini gerçekleştirecek işlem düğümünün kapasitesi kadar alan boş bırakılmıştır. Dengelelenecek yük ise ayrı bir haznede tutulan ve düğümün yükünü ifade eden bir sıvı olarak modellenmiştir. Bu model Şekil 3.1’de resmedilmiştir.



Şekil 3.1 Hidrodinamik Yük Dengelemede Kullanılan Kap Modeli

Bu yapıya göre yük dengeleme işlemi, ayrı haznede tutulan yükün, kap içine boşaltılması olarak ifade edilmiştir. Ayrı hazneden boşaltılan sıvı ilk olarak düğümün kendi alanına doldurulacak, daha sonra da en düşük potansiyel enerjiye sahip komşusundan başlayarak gerek duyduğu ölçüde komşuları arasında pay edilecektir.

Hidrodinamik yaklaşım kullanan sistemler, yük dengelemeye ihtiyaç duydukları zaman iş akışlarını durdurarak yük dengeleme işlemini başlatmaktadırlar. Yük dengeleme işlemi genel adillik seviyesine erişilinceye kadar sürdürülmektedir. Bu yapısı ile hidrodinamik yaklaşım eşzamanlı bir yöntem olarak tasnif edilebilmektedir.

Son olarak hidrodinamik yaklaşımda, yük iletimleri esnasında yük bilgisi mesajları, yük ile birlikte iletilmekte ve DYD algoritmalarının temel problemlerinden olan yük kontrol mesajlarının yarattığı ek ağ yükü sorunu önlenmiş olmaktadır [9][10].

3.2.3 Ardıl Dinamik Yük Dengeleme Yaklaşımlarının Deneysel Kıyaslaması

Bu bölümde daha önce değinilen klasik ardıl dinamik yük dengeleme metodları ile, onlardan türetilmiş Hidrodinamik Yaklaşım deneysel sonuçlar üzerinden kıyaslanacaktır.

Testler çift çekirdekli iki adet Intel Xeon marka işlemciye sahip iş istasyonlarından oluşan bir küme yapısında gerçekleştirilmiştir. Küme içerisinde bulunan iş istasyonları arasındaki haberleşme mesaj aktarım arayüzü (MPI, *Message Passing Interface*) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Küme dahilindeki bilgisayarların mantıksal olarak çizgi topolojisine sahip olduğu varsayılmıştır.

Dinamik yük dengeleme yaklaşımlarının test edilmesi sırasında, dengelenemek üzere işlenen işlem yükü, sualtı akustiğinde ses iletimi esnasında gerçekleşen ses kayıplarının benzetiminin gerçekleştirilmesinde kullanılan Normal Mod teorisi yardımı ile oluşturulmuştur [15]. Problem, iletilecek sinyalin içerdiği frekanslar doğrultusunda parçalanmış ve küçük işlere ayrıştırılmıştır. Bu durumda her bir frekans, normal mod teorisi ile işlenecek ayrı bir iş birimini oluşturmaktadır. Her işin

zorluğu (hesaplanması için gerekli işlem süresi) önceden tam olarak tahmin edilememekle birlikte ilgili işlem frekansının büyüklüğü ile artma eğilimindedir.

Testler gerçekleştirilirken, var olan yöntemlerin olası tüm kritik dağılım senaryolarında test edilmesi amaçlanmış ve üç aşamalı bir test planı ortaya konmuştur. Bu test durumları, hiçbir yük dengeleme işlemine gerek duymayan dağılımından, olası en kötü dağılımına kadar geniş bir dağılım yelpazesini içermektedir.

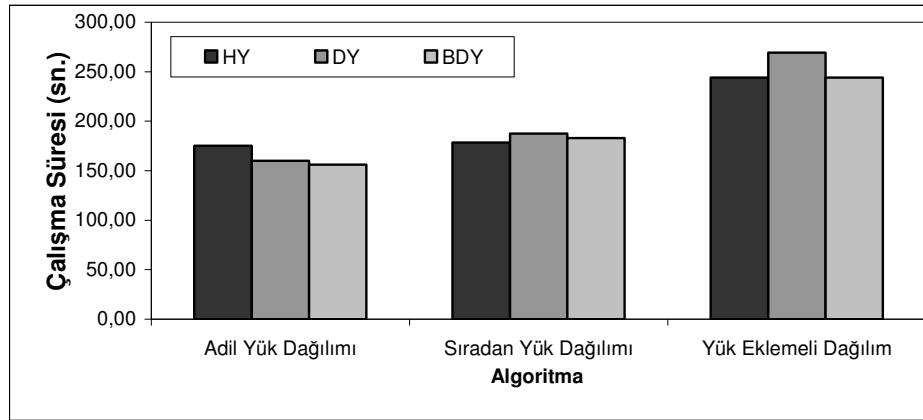
Tez kapsamında gerçekleştirilen tüm testlerde kullanılan metodlar, işlem düğümlerinin yüklerini ölçmek amacı ile, o an için çalıştırılmak üzere iş kuyruğunda bekleyen işlerin sayısını kullanmaktadırlar.

İlk olarak sistemin herhangi bir yük dengeleme algoritmasına ihtiyaç duymadan, tamamı ile etkin bir yük dağılımı ile çalışabileceği bir yük dağılımı (adil yük dağılımı) oluşturulmuştur. Bu yapıda tüm işlem birimlerine eşit sayıda ve mümkün olduğunca eşit zorlukta işler atanmıştır. Bu testten elde edilen sonuçlar Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Grafiğe göre var olan ardıl yöntemlerin performansı, yöntemin basitliği ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Doğrudan komşuları ile hiçbir yük bilgisi gerektirmeden yük değiş tokuşunda bulunan boyut değişimi yaklaşımı bu testte en yüksek başarıyı ortaya koyarken, hidrodinamik yaklaşım, diğer ardıl yöntemlere göre karmaşık olan yapısı nedeni ile başarısız sayılabilmektedir. Ancak bu yük dağılımının halihazırda dengeli olduğu ve herhangi bir yük dengeleme algoritmasına kritik derecede gereksinim duymadığı göz önüne alınmalıdır. HA dışındaki yöntemlerin bu testte sergilemiş oldukları başarının pek çok gerçek hayat problemi karşısında sergilenemeyeceği açıktır.

İkinci test olarak, sistemde olası yük dengesizliklerinin gerçekleşme olasılığının yüksek olduğu bir yük dağılımı (sıradan yük dağılımı) oluşturulmuştur. Bu yapıda yükler eş sayıda olmak koşulu ile frekanslarına göre artan sırada işlem birimlerine yerleştirilmiştir. Böylelikle ilk sıradaki işlem birimlerine düşük frekansa sahip işler atanmakta iken, son sıradaki bilgisayarlara işlem yükü ağır olan yüksek frekanslar atanmaktadır. Bu testten elde edilen sonuçlar Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Klasik ardıl yük dengeleme yöntemlerinden daha üstün bir performans sergilemeyi amaçlayan hidrodinamik yaklaşım bu aşamada devreye girerek teste giren metodlar

arasında en yüksek başarıma sahip olmuştur. Yüklerin iletilmesi gereken düğümlerin ve iletim miktarının tam olarak kestirebilmesi nedeni ile bu tip bir testte hidrodinamik yaklaşım belirli oranda başarılı olabilmektedir.

Son testte ise, sistemde sıradan yük dağılımına ek olarak, 0 numaralı işlem biriminin işlerinin bitmesi durumunda, bu işlem birimine eklenecek ve yük dağılımı eğrisinde belirgin ve kritik bir zirve noktası oluşturacak bir yük dağılımı (yük eklemeli dağılım) oluşturulmuştur. Bu testteki amacımız olası bir ani yük talebine var olan yöntemlerin ne denli tepki verebildiklerini görmektir. Testten elde edilmiş sonuçlar Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu testte uygulanmış olan yük dağılımına benzer yapıdaki bir yük dağılımında ve ani işlem gücü taleplerinde, var olan yük dengeleme yöntemleri arasında hidrodinamik yöntem ile boyut değişimi yöntemi hemen hemen eş performans sergilemekte buna karşın difüzyon yöntemi ise diğer yöntemlere oranla daha başarısız olmaktadır. Bunun nedeni, boyut değişimi yönteminin basit yapısı ve hidrodinamik yaklaşımın var olan yükü akılcıca dağıtması olarak gösterilebilir.



Şekil 3.2 Klasik Ardıl Yük Dengeleme Yaklaşımları ile Hidrodinamik Yaklaşımın Kıyaslama Sonuçları

Gerçekleştirilen testlerden elde edilen sonuçta göre yük dengeleme ihtiyacı duyulduğu durumlarda, elde ettiği en az çalışma süreleri ile hidrodinamik yaklaşım, deneysel olarak da var olan en yüksek başarımlı ardıl yük dengeleme yaklaşımını oluşturmaktadır.

4 GELİŞTİRİLMİŞ HİDRODİNAMİK YAKLAŞIM

Tezin bundan sonraki bölümünde, klasik ardıl yük dengeleme yöntemleri ve bunlardan türetilmiş hidrodinamik yöntemin kıyaslanmasından elde edilen sonuçlar doğrultusunda diğer yöntemlere göre daha üstün bir başarımla sergileyen hidrodinamik yaklaşımın halihazırda var olan zayıf noktaları araştırılmış ve bu noktaların giderilmesine çalışılmıştır.

Bu amaçla ilk olarak hidrodinamik yaklaşımın genel yük dengeleme işlemi için barındırdığı zayıf noktalar ortaya konulmuştur. Öngörülen zayıflıklar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

- Yük dengeleme işleminin normal işleyişi bloke eder yapıda olması
- Ardıl yöntem olması nedeni ile anlık işlem gücü taleplerine hızla cevap verir nitelikte olmaması

Öngörülen problemlerden ilki, sistemde tam bir yük dengesi sağlanana kadar, iş yüklerinin tüketilmesinin durdurulmasına neden olmaktadır. Bu sorun da özellikle yüksek hızlı işlem kabiliyeti gerektiren uygulamalarda, kritik öneme sahip “çalışma zamanı” kısıtını ciddi bir şekilde tehlikeye atmaktadır. Bu problem yaklaşımın bloklamayı önleyen bir yapıya kavuşturulması ile çözülebilmektedir. Bunun için yaklaşımın olası bir yerel denge durumu öngörmesi ve bunun için gerekli adımları atması (yük dengeleme mesajlarının yollanması) yeterlidir. Bu girişimler bir sonraki yük dengeleme iterasyonu esnasında işlenebilir ve istenen yük dengesi daha uzun bir sürede dahi olsa sağlanmış olur. Yerel yük dengesinin ve dolayısı ile genel yük dengesinin geç gelmesi sistemi yavaşlatmayacaktır çünkü yük dengeleme işlemi sırasında yük tüketilmesine devam edilmektedir. Ayrıca yük dengeleme zamanı ile işlem zamanı örtüştürülmüş olması sistemin hızlanmasını sağlayacaktır.

Öngörülen problemlerden ikincisi, günümüz sistemlerinde kritik öneme sahip olan bir problemdir. Bu problem dağıtık yapıda çalıştırılan günümüz benzetim ve savaş oyunlarında ani hareketlenmeler ve yük üretimlerinin beraberinde ortaya çıkmakta ve oluşturulan ek yükün hızla tüketilmesini gerektirmektedir.

Ani yük artışı probleminin çözümü amacıyla hidrodinamik yaklaşıma, klasik ardıl yöntemlerin kullanmayan ve daha çok doğrudan yük dengeleme yaklaşımlarda kullanılan bir özellik eklenmiştir. Böylelikle ortaya melez bir yaklaşım (geliştirilmiş hidrodinamik yaklaşım) konulmaktadır. Geliştirilmiş hidrodinamik yaklaşıma (GHY) göre iş düğümleri belirlenen zaman aralıklarında gerçekleştirdikleri yük dengeleme işlemlerini, mevcut hidrodinamik yaklaşımın iş çalıştırılmasını bloklamayı önleyen bir versiyonunu kullanarak gerçekleştirirken, gerek duyulan aykırı durumlarda doğrudan yöntemlere başvurmaktadır.

Ortaya çıkabilecek aykırı durum, bir düğümünün iş yükünün, içerisinde bulunduğu komşuluğun toplam iş yükünden belirli bir eşik değeri üzerinde olması durumu şeklinde değerlendirilmektedir. Bu durumda iş düğümü doğrudan yük transferi ile sistemdeki başka bir komşuluğa kendi yükünün belirli bir kısmını gönderebilmekte ve sistemde gelişen aşırı yükün daha kısa sürede dağıtılması sağlayabilmektedir. Bu işleme uzak yük iletimi adı verilmektedir. Uzak yük iletimi öncelikle yükün iletileceği düğüme gönderilen bir “uzak yük iletimi başlatım talebi” mesajı ile başlar. Bu mesaja verilen cevabın olumlu ya da olumsuz olmasına göre işlem başlatılır ya da başlatılmaz. Bu aşamada oluşabilecek aykırı durumlarda yükün hangi düğümlere dağıtılacağı problemi ortaya çıkmaktadır. Bu işlem iki farklı yaklaşım ile değerlendirilebilir.

4.1 Durağan Dağıtımlı Hidrodinamik Yaklaşım

Bu yaklaşımlardan ilki, yükün her işlem düğümünde var olan bir iletim listesinin kullanılarak aktırılmasıdır. Bu liste yapısı her işlem düğümüne çalışma zamanı başlangıcında atanır ve durağan bir yapı gösterir. Bu listede, sistemde bulunan ve söz konusu işlem düğümünün komşuluğundan uzak düğümler yer almaktadır. Listedeki düğümler de kendi aralarında farklı komşuluklarda bulunmalıdır. Bu nedenle bu listenin boyutu sistemin boyutu ile doğru orantılı olmakla beraber kısıtlıdır.

Her düğüme atanacak liste elemanları tek bir elden seçilmekte böylelikle tüm sistemin sahip olduğu uzak komşuluklar belirli bir düzen altında tutulmaktadır. Tez kapsamında belirlenen düzen, düğümlerin karşılıklı olarak birbirlerini uzak komşu

düğüm olarak belirleyememesi ve bir düğümün uzak komşusu olan iki düğümün doğrudan komşu olamaması ilkeleridir.

Yukarıda bahsedilen ilkeler ışığında, liste elemanlarının seçiminden sorumlu merkez iş düğümü, tüm düğüm elemanlarının kullanacağı uzak iletim listelerini hazırlamaktadır. Hazırlanan listeler çalışma zamanı başlangıcında iş düğümlerine dağıtılarak geliştirilmiş hidrodinamik yaklaşımın işlerlik kazanması sağlanmaktadır.

Bu yöntem durağan dağıtımlı hidrodinamik yaklaşım (DHY) olarak adlandırılmaktadır.

4.2 Rastsal Dağıtımlı Hidrodinamik Yaklaşım

İkinci yaklaşım ise, yukarıda bahsi geçen listenin, rastsal olarak ve her ihtiyaç duyulduğu anda oluşturulmasıdır. Bu yapıya göre, herhangi bir ilklendirilmiş uzak arkadaş listesine sahip olmayan işlem düğümleri, aykırı durum oluşması ile birlikte kendilerine dinamik olarak bir arkadaş listesi oluşturacak ve iletimi bu liste üzerinden gerçekleştirecektir. Ortaya konan bu rastsal yapı, tesadüfî yaklaşımlara benzerlik sergilese de sürekli olarak kullanılmaması ve ayrıca yükün belirli durumlarda ve toplu olarak belirli bir noktaya iletilmesini sağladığı için doğrudan yük dengeleme yaklaşımlarına örnek oluşturabilmektedir.

Uzak arkadaş listesi oluşturma işleminde DHY’da uygulanana benzer bir liste oluşturma düzeni uygulanmaktadır. Bu düzene göre listeye seçilen elemanlar birbirlerinin doğrudan komşuları olamazlar. Ayrıca yine bu düzene göre, seçilen uzak iletim düğümleri, seçim işlemini yapan düğümün doğrudan komşuları ve doğrudan komşularının yine aynı yakınlıktaki komşuları olamazlar. Bu düzenin seçilmiş olmasındaki amaç, rastsal seçim ile oluşturulan liste yapısının, aykırı durumlarda iletilecek yüklerin sistemde olabildiğince geniş alana dağıtılmasını sağlamasıdır. Bu sistemin DHY’dan farkı, uzak iletim listesi oluşturulması esnasında herhangi bir global bilgiye ihtiyaç duymamasıdır. Ayrıca her seferinde ayrı bir liste üzerinden iletim sağlanması aykırı yük dağılımının her seferinde farklı bir yoldan dağıtılmasını sağlamakta ve darboğazların oluşmasını engellemektedir. Bu yöntem rastsal dağıtımlı hidrodinamik yaklaşım (RHY) olarak adlandırılmaktadır.

4.3 Geliştirilmiş Hidrodinamik Yaklaşımın Uygulanması

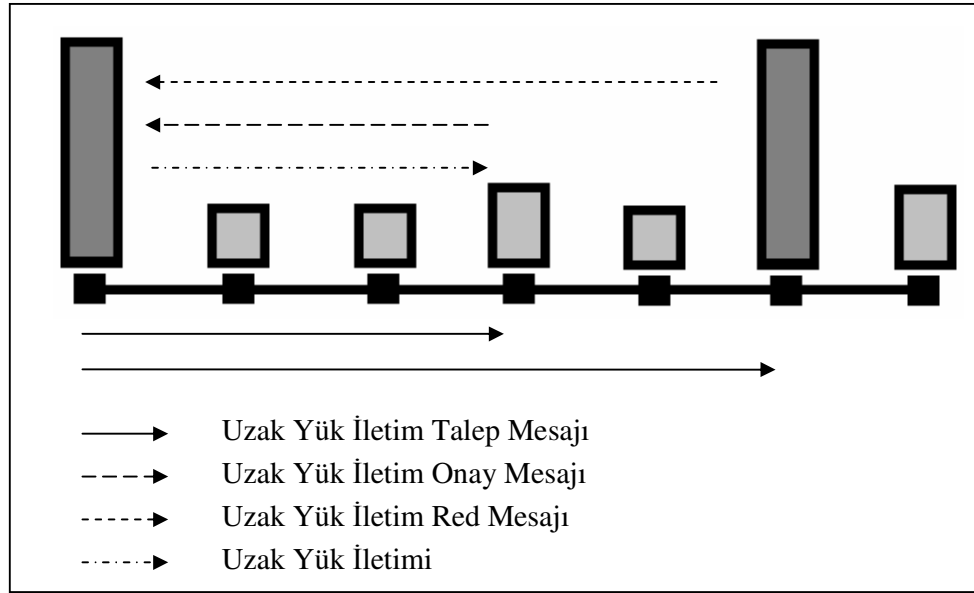
Geliştirilmiş hidrodinamik yaklaşım temel olarak hidrodinamik yaklaşım üzerine oluşturulduğu için, yük dengeleme işlemi için genel olarak bloklamasız bir hidrodinamik yaklaşım tekniğini kullanmaktadır.

Sistem yükü dengeleme işlemi esnasında oluşabilecek, ani yük taleplerine bağlı aykırı durumlar karşısında ise melez yapısının gereği olarak doğrudan yük dengeleme yaklaşımlarından yararlanmaktadırlar. Daha önceki alt bölümlerde belirtildiği üzere bu işlem iki farklı yaklaşımla gerçekleştirilmektedir. İki yaklaşımdaki temel fark olan iletim listesi doldurma işlemi haricinde tüm geliştirilmiş hidrodinamik yaklaşımlar aynı prensipte çalışmaktadır.

İş düğümleri, aykırı bir durumla karşılaştıklarını anlayabilmek için bir tetikleme mekanizması kullanmaktadırlar. Bu mekanizmaya göre kendi yükleri, komşularının yükleri toplamının belirli bir çarpan ile çarpımından fazla ise uzak iletim mesajları gönderilmeye başlanmaktadır.

Oluşan aykırı durum karşısında, bu aykırı durumla karşılaşan iş düğümünü melez algoritma çerçevesinde bünyesindeki uzak iletim listesini kullanır. Bu durumda yapılacak ilk iş, iş düğümünün uzak iletim ile göndereceği fazla iş yükünü belirlemesi işlemidir. Bu safhada seçilen iş yükünün uzak düğümlere en çok bir ardıl adım sonrası gönderilmesi öngörülmektedir. Ancak iletim işlemi, iş düğümleri arası üçlü el sıkışma (handshake) yöntemi kullanılarak gerçekleştirildiği için, belirlenen iş yükünün bir kısmının hatta hepsinin birden bir sonraki ardıl adımda gönderilememe riski mevcuttur. Bu durumda düğümler uzak iletim işlemini gerçekleştirememektedir.

Bu risk RHY ve DHY arasındaki temel avantaj farkını ortaya koymaktadır. RHY’da sürekli olarak yeni baştan yaratılan uzak iletim listesi üretim işleminde harcanan ek süreye rağmen, seçilen hedeflerin dinamik olarak değiştirilmesi özelliği ile, oluşabilecek uzak iletim gerçekleştirememe darboğazlarına karşı sistemi esnek bir yapıda tutmaktadır. GHY’ın aykırı durumlar karşısında gösterdiği genel yük dengeleme stratejisi Şekil 4.1’ de resmedilmiştir.



Şekil 4.1 Geliştirilmiş hidrodinamik yaklaşımı mesajları

Bir işlem düğümü, bir aykırı yük dengeleme durumu ile karşılaştığı zaman, bünyesinde tuttuğu uzak iletim listesinde yer alan düğümlere, önceden belirlediği akrılacak fazla yükü paylaştırıp göndermek isteyecektir. Bunun için ilk olarak hedef düğümlere, göndermeyi düşündüğü yük miktarı bilgisini içeren uzak yük iletim talep mesajı (UYTM) gönderir. Listesinde bulunan tüm düğümlere UYTM iletimi gerçekleştirdikten sonra işlem düğümü, tüm uzak gönderimlerin başarılı olacağını varsayarak elinde kalan yüklerle eş zamansız hidrodinamik yük dengeleme işlemi yapmaya devam eder.

UYTM iletilerini alan düğümler ise, öncelikli olarak kendi komşuluklarını ve kendi durumlarını göz önüne alarak UYTM' e bir cevap üretirler. Yük iletim talebine tâbi tutulan işlem düğümünün yük miktarı, kendi komşuluğundaki düğümlerin toplam yük miktarından belirli bir eşik seviyesinin altında az ise, UYTM iletimine olumlu cevap verilir. Bu durumda uzak yük iletim onay mesajı (UYOM), UYTM iletiminin kaynağına gönderilir. Bu mesaj iletimi onaylanan yük miktarı bilgisini içerir. Olumsuz cevap verme durumunda ise, uzak yük iletim red mesajı (UYRM) yine UYTM iletiminin kaynağına gönderilmektedir.

Aykırı duruma tâbi olup, uzak yük iletimi istemini başlatan iş düğümü, aldığı cevaba göre işlem yapmaktadır. Aldığı mesaj UYOM ise, uzak yük iletimine başlamak amacıyla, yük ile ilgili bilgilerin iletimini gerçekleştirmektedir. Onay

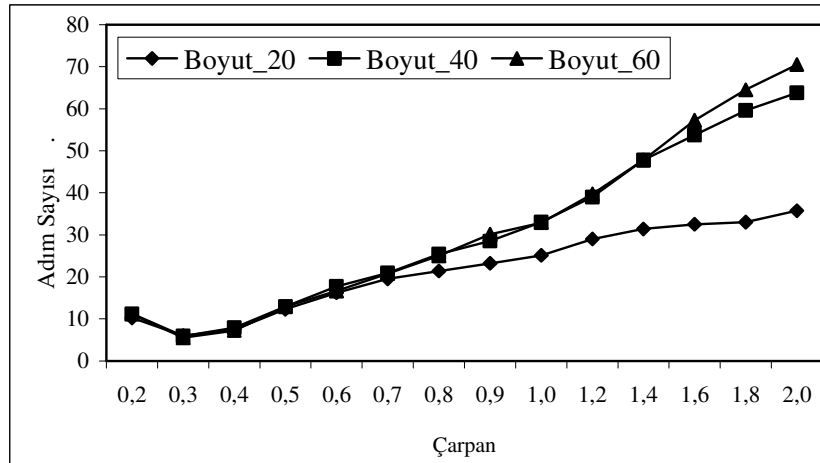
mesajında belirtilen onaylanan yük miktarı kendi elinde var olan yük miktarından fazla ise verebileceği maksimum miktarda yükün iletimini gerçekleştirir. Aldığı mesaj UYRM ise herhangi bir uzak yük iletimi gerçekleştirmeyecektir.

4.4 Hidrodinamik Yaklaşımların Deneysel Kıyaslaması

Klasik ardıl yük dengeleme yöntemlerinin hidrodinamik yaklaşıma göre daha kötü performans sağladığı daha önceki bölümlerde sergilenen testlerle gösterildiği için, bu bölümde sadece hidrodinamik yaklaşım ile tez kapsamında ortaya konulan geliştirmeler kullanılarak oluşturulmuş gelişmiş hidrodinamik yaklaşımlar deneysel olarak kıyaslanacaktır.

Gelişmiş hidrodinamik yaklaşımlarda kullanılan tetikleme mekanizması çarpanı da deneysel olarak bu aşamada belirlenmiştir. Deneyde, belirli bir düğümdeki yükün ani olarak yükseltilmesi işlemi sonucunda hidrodinamik yaklaşımın yükü dağıtmasının benzetimi gerçekleştirilmiştir. Böylelikle hidrodinamik yaklaşımın, oluşan işlem yükünü hızlı bir şekilde dağıtamayacağı genel bir yük durumu bilgisi aranmış ve bu bilgi tetikleme çarpanı değerinin elde edilmesinde kullanılmıştır.

Simülasyon, sistemin topolojik boyutunun etkisinin de görülmesi amacıyla üç farklı sistem büyüklüğünde gerçekleştirilmiştir. Her sistem büyüklüğünde 0,2 ile 2 arasında değişen çarpanlar kullanılarak oluşturulan yükler, belirlenen düğüme eklenmiştir. Yük ekleme işlemi, belirlenen düğümün ve komşularının halihazırda sahip olduğu yük büyüklükleri toplamının, test edilen çarpan ile çarpılması sonucu elde edilen miktarın düğümün yeni yükü olarak belirlenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Farklı tetik çarpanı değerleri kullanılarak yük dengesinin sağlanma sürelerini karşılaştıran simülasyon sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 Tetik değeri belirleme simülasyonunun sonuçları

Simülasyon sonuçlarına göre, sistem boyutundan bağımsız olarak 0.3 değeri HA' nın yük iletimini en hızlı şekilde gerçekleştirdiği katsayı olarak belirlenmiştir. Bu durumda bizim amacımız doğrudan yük iletimi gerçekleştirdikten sonra, yük dengeleme işlemine katılan düğümlerin sahip oldukları fazla yükün 0.3 çarpanı ile elde edilen yük miktarına yakın olmasını sağlamak olmalıdır. Uzak yük iletimi sonunda bu yük çarpanına ulaşabilmek amacı ile testlerde tetik çarpanı değeri olarak (4.1)'de verilen değer kullanılmıştır.

$$\text{Tetik Çarpanı} = (1 + \text{uzak komşu sayısı})/2 \quad (4.1)$$

Testler ardıl yük dengeleme yaklaşımlarının deneysel kıyaslamasında kullanılan test ortamında ve aynı problem ile gerçekleştirilmiştir.

Testler iki farklı senaryoda gerçekleştirilmiştir. İlk senaryoya göre sistemin işlemesi gereken yük miktarı sabit tutulmuş (2400 iş) ve sistemdeki çalışma düğümü sayısı artırılmıştır. Bu test ile, teste tâbi tutulan yöntemlerin ölçeklenebilirliklerin karşılaştırılması amaçlanmaktadır. İkinci test senaryosunda ise, ilk senaryonun tam tersi gerçekleştirilmiş ve sistemde var olan işlem düğümü sayısı sabit (32 iş düğümü) tutulurken, işlenecek yük sayısı artırılmıştır. Bu testle amaçlanan ise, teste tâbi tutulan yöntemlerin arasında işlem yüküne ve çalışma süresine bağlı olan farklılıkların ortaya konulmasıdır.

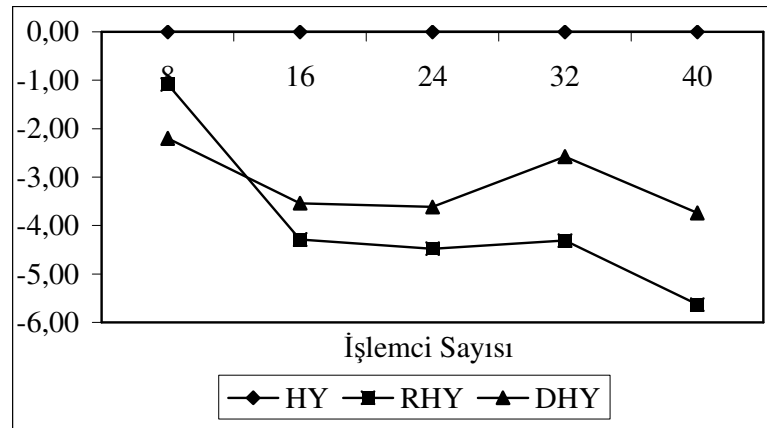
Her iki test senaryosunda da önceden belirlenen bir işlem düğümünün yük seviyesi belirli bir değerin altına düşmesi halinde, o düğüme işlenmesi için ek yük gönderilerek sistemde yük dengesi bakımından aykırı bir durum oluşturulmuştur. Böylelikle teste tabî tutulan metodların bu aykırı durum karşısındaki davranışlarının, testin sonuçlarını doğrudan etkilemesi sağlanmıştır.

Test grupları üç ölçüt üzerinden incelenmiştir. İlk ölçüt, yöntemlerin çalışma sürelerinin karşılaştırılmasıdır. Bu süre çalıştırılan iş düğümleri arasında işini en geç bitiren iş düğümünün çalışma süresine eşittir. İkinci ölçüt, yöntemlerin yük dengeleme işlemini gerçekleştirirken harcadıkları ortalama sürenin karşılaştırılmasıdır. Son ölçüt ise, yöntemleri kullanan iş düğümlerinin ortalama boşta bekleme sürelerinin karşılaştırılmasıdır. Boşta bekleme süresi, iş düğümünün işleyebileceği herhangi bir işin kalmadığı zamanları kapsamaktadır. Bu sürenin uzunluğu yük paylaşımının adil olmaması ve dolayısı ile sistem kaynaklarının verimsiz kullanılması anlamına gelmektedir.

Testlerin sonuçlarını göstermek için kullanılan grafikler (Şekil 4.3 ile Şekil 4.8 arasındaki grafikler), hidrodinamik yaklaşım ile elde edilen sonuçların sıfıra standartlaştırılması ile elde edilmiştir. Standartlaştırma işlemi basitçe, tüm sonuçlardan HA ile elde edilen sonuçların çıkartılması ile gerçekleştirilmiştir. Bu durumda karşılaştırma gerçekleştirilirken çizgelerde sıfır değerinin altında kalmış değerler, o yöntemin HY yaklaşımından daha yüksek test değeri almış olduğunu, altında kalanlar ise o yöntemin bu kez HY'dan daha düşük test değeri almış olduğunu göstermektedir. Tüm testlerde küçük değer alan yöntemler diğer yöntemlere göre daha üstün sayılmaktadır. Tüm testlerden elde edilen sonuçların standartlaştırılmamış ve tam halleri, anlaşılabilirliği artırabilmesi amacı ile Tablo 3'te verilmiştir. Tüm testler beş defa tekrarlanmış ve çalışma süresi için elde edilen en yüksek değer, geri kalan süreler için ise ortalama değer kaydedilmiştir.

Tablo 3 Tüm Testlerin Standartlaştırılmamış Sonuçları

	İşlemci Sayısı	HY(sn.)	RHY(sn.)	DHY(sn.)
1. Test Senaryosu	8	156,18	155,10	153,98
		6,72	4,71	6,57
	16	95,93	91,64	92,39
		19,88	14,73	16,90
	24	74,85	70,37	71,24
		23,00	18,54	20,69
	32	64,66	60,35	62,08
		26,15	20,76	23,43
	40	63,85	58,22	60,11
		32,71	24,84	29,52
	Yük Miktarı			
2. Test Senaryosu	2400	97,47	78,58	82,55
		42,65	22,86	28,72
	4800	191,23	185,41	180,29
		51,80	46,92	43,98
	7200	347,41	341,57	336,34
		71,31	66,50	67,12
	9600	552,99	547,90	536,57
		84,97	80,68	80,23

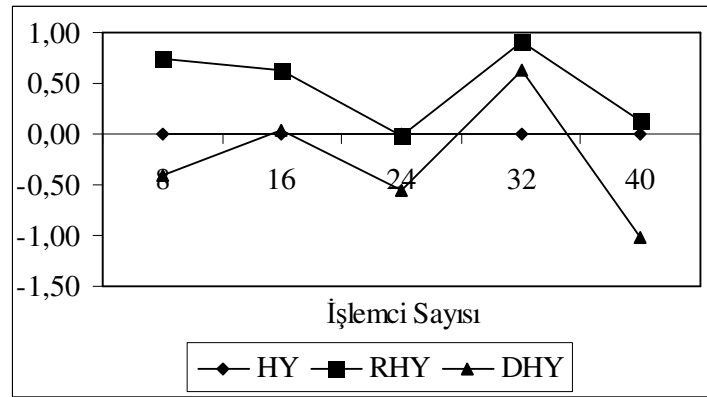


Şekil 4.3 İşlem düğümü sayısı artırılırken elde edilen en yüksek çalışma süreleri

İlk senaryo testinden elde edilen birinci ölçüt sonuçları Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Bu grafiğe göre sistem genelinde gerçekleştirilen ölçeklenebilirlik testinde, hidrodinamik yaklaşım, geliştirilmiş hidrodinamik yaklaşıma göre daha

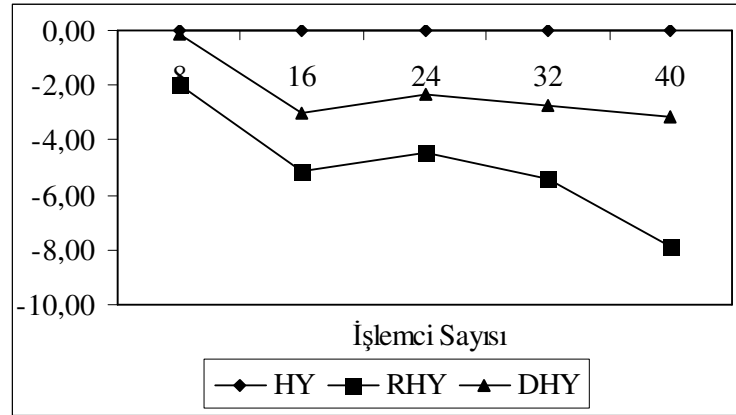
düşük bir performans sergilemektedir. Bu performans kaybının nedenleri, diğer ölçütler incelendiğinde ortaya konulacaktır. Bu grafikten elde edilen bir diğer sonuç ise geliştirilmiş hidrodinamik yöntemler arasında, yük miktarı sabit tutulduğu takdirde RHY'nın DHY'a göre daha yüksek ölçeklenebilirlik özelliği sergilediğidir.

Gerçekleştirilen ilk testin sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi için Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilen çizgeler incelenmelidir. İkinci ölçüt testi sonuçlarını gösteren Şekil 4.4'e bakılırsa, yük dengeleme süreleri eğrilerinin belirli bir desen izlemediği fark edilir. Yine de RHY'nın geneldeki en yüksek yük dengeleme sürelerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, RHY'nın oluşan her aykırı koşulda tüm sistem dahilinde olabilecek tüm düğümlerden kendine uygun uzak komşular belirleme işleminin uzun sürmesidir. Bu süre sistemde var olan iş düğümü sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Hidrodinamik yaklaşım ve DHY ise sistemlerin o anki çalışma hızı ve oluşan ağ yüklerine göre farklı yük dengeleme süreleri ortaya koymuşlardır. Bu iki yöntemin yük dengeleme süreleri arasında belirli bir bağıntı yoktur.



Şekil 4.4 İşlem düğümü sayısı artırılırken elde edilen ortalama yük dengeleme süreleri

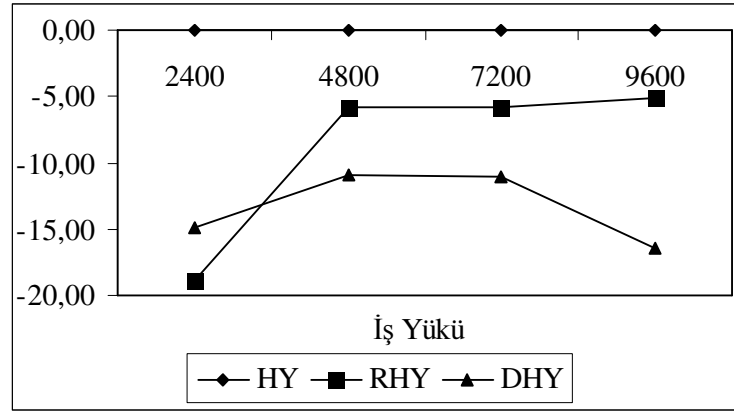
Üçüncü ölçüt testi sonuçlarını gösteren Şekil 4.5'e bakılırsa, bu çizgedeki eğrilerin daha tutarlı desenler ortaya koydukları görülebilir. Bu desenler ışığında RHY'nın mevcut testte, sistemi en yüksek verimle kullanan yöntem olduğu söylenebilir. DHY ise bu ölçüte göre ikinci en iyi yöntem olmaktadır. Hidrodinamik yaklaşım ise aykırı koşulların çözümünde özel bir çaba sarfetmediği için teste tâbi olan yöntemler arasından en düşük verimliliği sağlayan yöntem olmuştur.



Şekil 4.5 İşlem düğümü sayısı artırılırken elde edilen ortalama boşta bekleme süreleri

İlk test senaryosundan elde edilen sonuçlara göre, sistemin işlemesi gereken yük miktarını sabit tutulduğu takdirde RHY, aykırı durumlarda oluşan aşırı yükleri iletebileceği rastsal iş düğümü bulma işlemini, artan işlem birimi sayısı ile birlikte daha yüksek isabetle gerçekleştirmekte ve bu senaryo testinden en yüksek başarılı yöntem olarak sıyrılmaktadır. Hidrodinamik yöntem ise diğerlerine göre daha basit ve bu nedenle de ardıl adım başına daha hızlı yük dengeleme yapabilen yöntem olmasına rağmen, aykırı durumlarda oluşan aşırı yükü verimli dağıtamaması nedeni ile geliştirilmiş yöntemlerin gerisine düşmektedir.

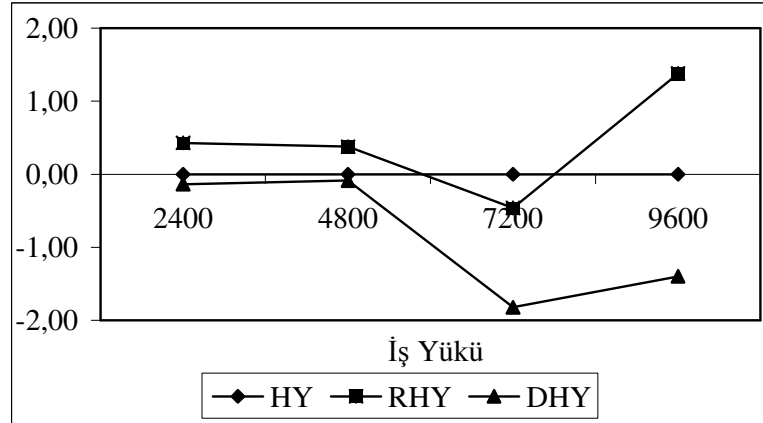
İkinci test senaryosunun ilk ölçütünden elde edilen sonuçlar Şekil 4.6'da verilmiştir. Bu grafiğe göre, ilk adımda daha yüksek performans gösteren RHY, işlem birimi sayısı sabit tutulup (32 iş düğümü) iş yükü arttırıldıkça performans olarak geriye düşmekte ve böylelikle DHY en yüksek başarılı yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Hidrodinamik yaklaşım ise ilk senaryodaki gibi en düşük başarılı yöntem olmaya devam etmektedir.



Şekil 4.6 Yük miktarı artırılırken elde edilen en yüksek çalışma süreleri

İşlenecek yük miktarı arttırıldıkça DHY'nin diğer yöntemler ile olan performans farkını artırdığı görülmektedir. Hidrodinamik yaklaşım ise 7200 işten 9600 işe geçerken sergilediği eğim ile iş miktarının daha da artırılması ile RHY'a daha çok yaklaşabileceğini göstermektedir.

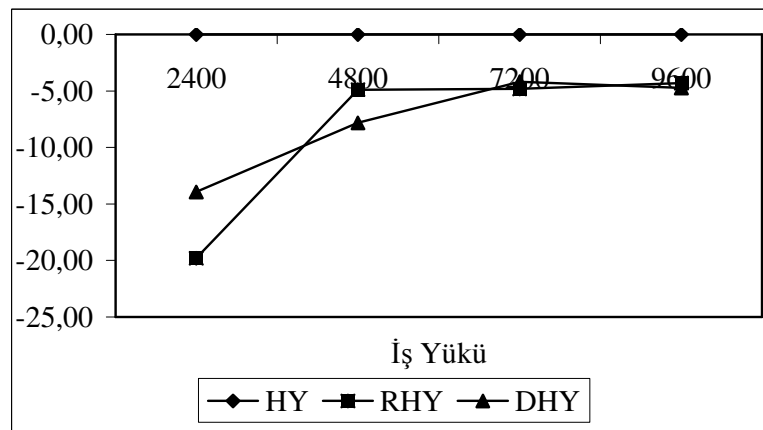
İlk ölçütün sonuçlarının iyi değerlendirilebilmesi için, ilk olarak ikinci ölçüt sonuçları incelenmelidir. İkinci ölçüt sonuçları Şekil 4.7'de verilmiştir. Bu çizgede farklı yük dengeleme yaklaşımlarının sergiledikleri ortalama yük dengeleme sürelerinin karşılaştırılması verilmiştir. Buna göre RHY'nın, ilk senaryodaki, en yüksek yük dengeleme süresine sahip olan yaklaşım olma özelliğini koruduğu görülmektedir. Hidrodinamik yöntem ise aykırı durumlara cevap verememesi nedeniyle yük dağılımını hızlı bir biçimde sağlayamamakta ve daha çok yük dengeleme işlemi gerçekleştirerek, ortalamada yüksek sayılabilecek bir yük dengeleme süresi elde etmektedir. DHY ise, hem aykırı durumlara cevap vermesi hem de bu işlem için yüksek bir ek işlem yükü gerektirmemesi nedeni ile testte yük dengeleme sürelerinin karşılaştırılması bakımından en başarılı yöntem olmaktadır.



Şekil 4.7 Yük miktarı artırılırken elde edilen ortalama yük dengeleme süreleri

Yaklaşımların işlem birimleri üzerinde ve sistemin genel verimliliği üzerindeki etkisi ise Şekil 4.8’de gösterilmektedir. İş miktarı arttıkça, yük dengelemeden elde edilecek zaman kazancının, iş yükünün işlenmesi için gereken toplam zamana oranı azalmaktadır. Bu durum, grafiğin son basamağında görülen yaklaşımlar arasındaki değer yaklaşmasını açıklamaktadır.

Düşük yük miktarları söz konusu olduğunda sistemin bazı düğümlerinin işlerini hızla bitirip, diğer düğümlerden yük beklemeleri nedeni ile iş yükü dağılımının gerçekleşme hızı, sistemin verimliliğini doğrudan etkilemeye başlamaktadır. Ancak sistemdeki iş miktarı arttıkça, yük dağılımı henüz düğümler işlerini bitiremeden gerçekleşebilmekte ve sistemin verimliliği her yöntemde artış göstermektedir.



Şekil 4.8 Yük miktarı artırılırken elde edilen ortalama boşa bekleme süreleri

Tüm bu olumlu varsayımlara rağmen hidrodinamik yaklaşım yine de geliştirilmiş yöntemlere göre çok daha düşük verimlilik performansı ortaya koymaktadır. Her ne kadar yük dengelemenin önemi azalmış olsa da, düğümlerinin iş yüklerinin azalması ile ortaya çıkan genel yük dengesine duyulan ihtiyaç, aykırı durumların da bu anlarda ortaya çıkması ile tamamen belirginleşmekte ve hidrodinamik yaklaşımın bu test ölçütünde de düşük performans sergilemesine neden olmaktadır.

Geliştirilmiş yöntemler ise Şekil 4.8’de kendi aralarında sarmal oluşturan bir eğri deseni oluşturmaktadır. İki yöntem arasındaki temel fark yük dengeleme işlemine ayrılan zamanın farklı olması ve buna bağlı olarak da RHY’ın çok yoğun sistemlerde daha esnek yapıya sahip olmasıdır. Bu durum iki yaklaşıma da farklı avantajlar sağlamaktadır. RHY daha yavaş ama daha esnek bir yük dengeleme işlemi gerçeklerken, DHY daha hızlı ama oluşabilecek darboğazlarda performans sorunları yaşayacak bir yük dengeleme işlemi gerçeklemektedir. Bu da sarmal eğri yapısını ortaya koymaktadır. İki yöntem arasındaki fark, yük dengelemenin getirdiği süre kazancının iş yükü artışı ile birlikte genel çalışma süresine oranla azalması nedeniyle azalmaktadır.

5 SONUÇLAR

Dinamik yük dengeleme (DYD) probleminin çözümü literatürde difüzyon yaklaşımı (DY) ve boyut değişimi yaklaşımı (BDY) gibi ardıl yöntemler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu iki yöntemi temel alarak hidrodinamik yaklaşım (HY) öne sürülmüş ve diğer yöntemlere göre daha iyi olduğu belirlenmiştir [9]. Bu çalışma kapsamında ise, dinamik yük dengeleme probleminin en zorlu koşullarından olan, ani ve yüksek işlem gücü taleplerine çözüm oluşturmak amacı ile geliştirilmiş hidrodinamik yaklaşım (GHY) öne sürülmüştür.

Yöntemler iki gruba ayrılarak farklı testlere tabi tutulmuşlardır. İlk test grubunda DY, BDY ve HY ele alınmış ve üç farklı test durumunda teste tabi tutulmuştur. Her test durumu, farklı bir yük dağılımının benzetimini gerçekleştirmekte ve bu dağılım karşısında yöntemlerin sergileyeceği performansı değerlendirilmiştir.

Adil yük dağılımı olarak adlandırılan dağılımda, sistemin hiçbir yük dengeleme mantığını çalıştırmadan en iyiye yakın performans sergileyeceği varsayılmıştır. Bu doğrultuda, DYD algoritmasının işlem maliyeti en az olan yaklaşımın, bu dağılımda en yüksek performansı vermesi beklenmektedir. Bu test sonucunda, BDY'nın en az işlem maliyeti isteyen DYD mantığı olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca HY, bu üç yöntem arasındaki en karmaşık DYD yöntemi olarak belirlenmiştir.

Sıradan yük dağılımı olarak adlandırılan dağılımda, herhangi bir aykırı durum olmaksızın, sıradan bir iş dağılımı durumunda tüm yaklaşımların performansları ölçülmüştür. Bu testte, HY karmaşık yapısına rağmen, sisteme kolay uyum sağlaması nedeni ile en başarılı yaklaşım olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında ele alınan asıl problem olan, yük dağılımında aykırı durum oluşumu durumunun testinin gerçekleştirildiği, yük eklemeli dağılımda ise yine HY mantığı en yüksek performansı sergilemiştir. DYD mantıklarına ihtiyaç duyulan son iki testte, HY'a yakın performans sergileyen BDY da dikkat çekmektedir. Ancak test ortamında kabul edilen topolojinin çizgi topolojisi olması nedeni ile BDY'nın çalışma hızının yüksek olması, önceden tahmin edilmektedir. Bu

durumda sergilediği yüksek performansı, yüksek komşuluk değerlerine sahip topolojilerde de sergilemesi beklenmemektedir.

Yapılan ikinci test grubunda ise bir önceki test grubunun performans yönünden üstün olan HY ile bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen GHY'a ait iki farklı yöntem test edilmiştir. Bu yöntemler GHY'da önemli yer tutan uzak komşu listesinin oluşturulmasına göre farklılık göstermektedir. Yöntemlerden biri bu listeyi her ihtiyaç duyulduğunda rastsal olarak yeniden oluşturan rastsal dağıtımli hidrodinamik yaklaşım (RHY) iken diğeri, bu listeyi çalışma zamanı başlangıcında alıp çalışma sonuna kadar değiştirmeden kullanan durağan dağıtımli hidrodinamik yaklaşım (DHY)'dır.

İkinci grup testleri, iki farklı senaryoda gerçekleştirilmiştir. İlk senaryo, yaklaşımların ölçeklenebilirliklerinin kıyaslanması amacı ile uygulanmakta ve kullanılan işlem birimi sayısının artırılmasının benzetimini gerçekleştirmektedir. Bu senaryo sonucunda, RHY'nın her iki uygulamadan daha yüksek verimlilik ve performans sağladığı belirlenmiştir. Ancak, her ihtiyaç duyulduğunda gerçekleştirilen uzak iletim listesi doldurma işlemi nedeni ile RHY, test edilen DYD mantıkları arasında yük dengeleme işleminin gerçekleştirilmesi için en uzun süreyi harcayan metot olarak belirlenmiştir. DHY'nın ise RHY'nın ardından ikincil en yüksek verimlilikte çalıştığı belirlenmiştir. Bu testin sonuçları, sistemde var olan işlem birimi sayısının artmasıyla birlikte RHY'nın daha rahat uzak iletim düğümü bulması ile açıklanabilmektedir.

İkinci grup testlerinin ikinci senaryosunda ise, teste tabi tutulan yaklaşımların belirli sayıdaki işlem birimi kullanılarak farklı iş yükleri ile sergiledikleri performansın karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu test sonuçlarına göre DHY en yüksek verimlilikle çalışan DYD yöntemi olduğunu göstermiştir. DHY'nın bu testten birinci çıkması, bu yöntemin sınırlı yaşayabileceği yük iletim darboğazlarına rağmen, hızlı çalışması ve aykırı durumlar karşısında ani tepkiler verebilmesine bağlanmaktadır.

GHY, aykırı durumlar gibi yük dengeleme işlemi için zorlu sayılabilecek durumlar karşısında başarılı bir performans sergilemektedir. Özel olarak RHY, sunduğu esnek ve güçlü yük dengeleme sistemi ile yüklerin tüm sistem geneline kısa

sürede dağıtılmasını sağlamaktadır. DHY ise, esnek olmasa da RHY ile özdeş olarak sunduğu güçlü yük dağılımı işlemini daha kısa sürede gerçekleştirerek, esnek olmamanın vermiş olduğu dezavantajı bertaraf etmektedir. Gerçekleştirilen testlerin sonuçlarına göre, kısıtlı işlem birimine sahip sistemlerde DHY’ nin daha yüksek performans sergileyebileceği, ancak büyük ölçekli sistemlerde ise RHY’ın çok daha başarılı olabileceği anlaşılmaktadır.

Uygulanan ilk test grubunda HY’ın tasarımcıları tarafından öne sürüldüğü gibi en iyi performansı sergilemesi, ikinci test grubunda ise RHY ve DHY’ın en başarılı iki yöntem olarak belirlenmesi, genel olarak tez kapsamında geliştirilen yaklaşımların DYD işlemi için başarılı bir alternatif yaratma yolunda önemli bir adım olduğunu ortaya koymaktadır.

6 ÖNERİLER

Tez kapsamında literatürde hâlihazırda var olan çeşitli ardıl yük dengeleme yaklaşımları ve yine bu tez kapsamında öne sürülmüş geliştirilmiş hidrodinamik yük dengeleme yaklaşımı gerçekleştirilmiştir. Çeşitli senaryolar doğrultusunda karşılaştırılan yaklaşımlar teste tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar analiz edilerek belirtilmiştir. Bu analizler doğrultusunda yapılabilecek araştırmalar şu şekilde sıralanabilir:

- Yaklaşımların çizgi topolojisi dışında, başta hiperküp olmak üzere farklı topolojiler kullanılarak da test edilmesi ve sonuçların komşuluk miktarı ve sistem büyüklükleri yönünden incelenmesi,
- RHY ve DHY'nın avantajları bir araya getirilerek her iki yaklaşımın dezavantajlarının bertaraf edilmesi,
- Yaklaşımların MPI harici farklı mesaj iletim altyapıları kullanılarak performanslarının karşılaştırılması,
- Yaklaşımların akustik normal mod problemi harici farklı bir problem ile test edilerek, gerçekleştirilen testlerin sonuçlarındaki problem bağımlı yapıların ortaya çıkarılması ve bu doğrultuda daha nesnel bir analizin gerçekleştirilmesi,
- Doğrudan yaklaşımlarda bulunan öngörüye dayalı yük dengeleme mantığının DYD işleminin melezleştirilmesi kapsamında ardıl yöntemler ile birlikte değerlendirilmesi ve sonuçlarının hâlihazırda yapılmış melezleştirme çalışmaları ile karşılaştırılması.

7 KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Marta BELTRÀN ve Jose BOSQUE, “*Information Policies for Load Balancing on Heterogeneous Systems*”, IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid, sayfa 970–979, 2005
- [2] Mark H. WILLEBEEK-LEMAIR ve Anthony P. REEVES, “*Strategies for Dynamic Load Balancing on Highly Parallel Computers*”, IEEE Transactions on parallel and distributed systems, Vol. 4 No. 9, sayfa 979–993, 1993
- [3] Deyu QI ve Weiwei LIN, “*TGrid: A Next Grid Environment*”, First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences, sayfa 611–618, 2006
- [4] George V. CYBENKO, “*Dynamic Load Balancing for Distributed Memory Multiprocessors*”, Journal of Parallel and Distributed Computing Vol. 7, sayfa 279–307, 1989
- [5] Wei JIE, Wentong CAI ve Stephen J. Turner, “*Dynamic Load-Balancing in a Data Parallel Object-Oriented System*”, IEEE, 2001
- [6] Wei JIE, Wentong CAI ve Stephen J. Turner, “*Dynamic Load-Balancing Using Prediction in a Parallel Object-Oriented System*”, IEEE, 2001
- [7] Giuseppe Di FATTA ve Michael R. BERTHOLD, “*Dynamic Load Balancing for the Distributed Mining of Molecular Structures*”, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems Vol. 17 No. 8, sayfa 773–785, Ağustos 2006
- [8] F.C.H. LIN ve Robert M. KELLER, “*The Gradient Model Load Balancing Method*”, IEEE Transactions on Software Engineering Vol. 13 sayfa 32–38, 1987
- [9] Chi-Chung HUI ve Samuel T. CHANSON, “*A Hydro-Dynamic Approach to Heterogeneous Dynamic Load Balancing in a Network of Computers*”, IEEE International Conference on Parallel Processing Vol. 3, sayfa 140–147, 1996
- [10] Chi-Chung HUI ve Samuel T. CHANSON, “*Hydrodynamic Load Balancing*”, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems Vol. 10 No. 11 sayfa 1118–1137, Kasım 2006
- [11] Malcolm YOKE ve Hean LOW, “*Dynamic Load-Balancing for BSP Time Warp*”, 35th Annual Simulation Symposium, sayfa 267–274, Nisan 2002

- [12] Chang-Zhang XU ve Francis C.M. LAU, “*Iterative Dynamic Load Balancing in Multicomputers*”, Journal of Operational Research Society Vol. 45 No. 7, sayfa 786–796, Temmuz 1994
- [13] Chengzhong XU, Burkhard MONIEN, Reinhard LÜNING, Francis C. M. LAU “*Nearest Neighbor Algorithms for Load Balancing in Paralel Computers*”, Concurrency: Proctice and Experience Vol. 9 No. 12, sayfa 1351–1376, 1997
- [14] Chi-Wang SHU ve Laxmikant V. KALE, “*A Dynamic Scheduling Strategy for the Chare Kernel Systems*”, In Proceedings of Supercomputing, sayfa 389–398, 1989
- [15] Serkan AKSOY ve Hüseyin A. SERİM “*Normal Mod Yöntemi Teknik Analiz Raporu*”, yayımlanmamış, 2006

8 ÖZGEÇMİŞ

Onur Destanoğlu, ilkokul öğrenimini Adalet İlkokulu'nda, orta öğrenimini Eskişehir Tepebaşı Adadolı Lisesi'nde, lise öğrenimini ise Burak Bora Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2001 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı. Buradaki öğrenimini 2005 yılında tamamladı ve aynı yıl Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2005 yılından beri TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi, Bilişim Teknolojileri Enstitüsü'nde araştırmacı olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları simülasyon teknolojileri, yüksek başarılı hesaplama teknikleri ve paralel uygulamalarda yük dengelemedir.