

# Kümelî İşlem - Beowulf

Hazırlayanlar:

Hande DOĞAN - Ersin ER

Danışman:

Arş. Gör. Kerem ERZURUMLU

Hacettepe Üniversitesi  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü

Ankara - 2002

# Teşekkür

Bu belgenin ve daha öncesinde ilgili sunumun hazırlanması sırasında bizi yönlendiren araştırma görevlileri *Ebru Sezer* ve *Kerem Erzurumlu*'ya, yardımlarından ve desteklerinden dolayı da arkadaşlarımız *Sezen Yaşa*, *Burcu Özgür* ve *Esra Açar*'a teşekkürlerimizi sunarız.

# Belge Düzeni

Bu belge öncelikle çok genel olarak bilgisayar sistemlerinin ve ağlarının geliştirilme amaçlarını ve süreçlerini, daha sonra bu gelişmelere paralel olarak yüksek başarımlı elde etmek için ortaya konmuş bilgisayar sistemleri ve ağları üzerinde yürütülen işlem türlerini ve son olarak da yüksek başarımlı - düşük maliyet kıstasına dayalı Beowulf sistemini ve bu sistemin tüm önceki bölümlerde bahsedilenler arasındaki yerini kapsamaktadır.

Konular mümkün olduğunca sıradüzensel bir yapıda düzenlenmeye çalışılmış ve okuyucunun, belgenin her kesiminde önceki konulara hakim ve yeni konuya kendini hazır olarak bulması amaçlanmıştır. Bu bütünlüğü sağlamak ve belge içeriğini karmaşıklaştırmamak için mümkün olduğunca konunun özü ile alakası olmayan ayrıntılardan kaçınılmıştır.

# Özet

Bilgisayar sistemlerinin gelişme sürecinde varılmak istenen amaçlar *veri işleme ve hesaplama* olarak sınıflandırılabilir. Bilgisayar sistemlerinin belli bir olgunluğa ulaşmasından sonra yeni arayışlar doğrultusunda geliştirilen bilgisayar ağlarının geliştirilme amaçları ise çok genel olarak *veri paylaşımı* ve *yüksek işlem gücü* olarak sınıflandırılabilir.

Geliştirilen bilgisayar ağlarından elde edilen verimi artırmak için çeşitli mimari yaklaşımlar ve bu mimarileri destekler özel işlem türleri ortaya çıkmıştır. Bu işlem türleri çok genel olarak Paralel, Dağıtık ve Kümeli İşlem başlıkları altında incelenebilir. Bu işlem türlerinin tanımlarını kesin olarak vermek ya da bu işlem türlerini birbirlerinden kesin çizgilerle ayırmak mümkün değildir. Ancak paralel işletim diğer işlem türleri için temel teşkil ettiği ve diğer işlem türlerinin de küçük farklılıklarla bir işin parçaları üzerinde birden fazla bilgisayarın çalışması esasına dayandıkları söylenebilir.

Bu belgenin asıl konusu olan Beowulf, kümeli işlemi taban alan, *düşük maliyetli*, çok bilgisayarlı yapısı kullanıcıdan soyutlanmış, *yüksek başarımlı* bir süper-bilgisayar sistemidir. Beowulf, tanımında da verilen düşük maliyet ve yüksek başarımlı kıstasları doğrultusunda oldukça özelleşmiş bir sistemdir. Beowulf sistemlerinin kurulumu için ağ donanımı yanında bazı özel yazılım bileşenleri de gerekmektedir. Hem donanım hem de yazılım bileşenlerinin seçimi önemli kıstaslara dayanmaktadır.

# İçindekiler

Teşekkür.....	2
Belge Düzeni .....	3
Özet .....	4
İçindekiler.....	5
1. Giriş .....	6
2. Bilgisayar ve Ağ Sistemlerinin Gelişimi .....	6
2.1. Bilgisayar Sistemlerinin Geliştirilme Amaçları ve Süreci .....	6
2.2. Bilgisayar Ağlarının Geliştirilme Amaçları ve Süreci.....	7
3. İşlem Türleri.....	7
3.1. Paralel İşlem Öncesi.....	9
3.2. Paralel İşlem .....	9
3.3. Dağıtık İşlem .....	9
3.4. Kümeli İşlem .....	10
4. Beowulf.....	11
4.1. Beowulf Nedir?.....	11
4.2. Beowulf Sistemlerinin Ayırt Edici Özellikleri .....	11
4.3. Bileşen Seçimi Kıstasları .....	12
4.4. Gerekli Donanım Bileşenleri .....	13
4.5. Gerekli Yazılım Bileşenleri.....	14
4.6. Sistem Kurulumu.....	15
4.7. Şematik ve Gerçek Sistem Görünümleri.....	16
4.8. Sistem Başarımı.....	18
4.9. Bir Uygulama Örneği.....	18
4.10. Mevcut Uygulama Alanları, Bugünü ve Yarını .....	19
Kaynaklar.....	20

# 1. Giriş

Bilgisayar sistemlerinin ve ağlarının mevcut teknolojiye ve gereksinimlere paralel olarak hızla geliştiği ve insan aklının sınırlarını zorladığı günümüzde süper-bilgisayar sistemlerinin rolü gittikçe belirginleşmekle beraber tasarımları ve maliyetleri de önem kazanmaktadır. Tüm tasarım çalışmaları öncelikle yüksek işlem gücü gereksinimlerine dönük yapılmaktadır, ancak gereksinimlerin çok fazla olduğu günümüzde başarımların yanında maliyet de önemli bir kısıtlama olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda ilerleyen kesimlerde ayrıntıları verilecek olan Beowulf türü sistemler öne çıkmaktadır.

## 2. Bilgisayar ve Ağ Sistemlerinin Gelişimi

### 2.1. Bilgisayar Sistemlerinin Geliştirilme Amaçları ve Süreci

Bilgisayar sistemleri ortaya çıktığı ilk günlerden bu yana belli başlı amaçlar doğrultusunda geliştirilmişlerdir. Bilgisayar sistemlerinin, ilk zamanlardaki geliştirilme süreci incelendiğinde iki ana amaç dikkati çeker:

- Veri işleme
- Hesaplama

*Veri işleme*, veri öbeklerinin çeşitli işlemlerden geçirilerek belirli biçimlerde çıktı üretilmesi olarak tanımlanabilir. Bilgisayar sistemlerinin bu amaç doğrultusunda geliştirilmiş olması, çok büyük veri yığınları ve bunlar üzerinde gerçekleştirilecek çok yüksek işlem gücü gerektiren işlem olduğunda, daha iyi anlaşılır. Bunun için bir örnek olarak ülke çapında yapılan merkezi sınav sistemleri ele alınabilir. Bu tür sınavlarda yüz binlerce kişinin kişisel bilgilerini ve sınav yanıtlarını kodladığı optik formların ya da çevrim içi sayısal formların oldukça yüksek işlem gücü gerektiren işlemlerden geçirilmesi, çözümlenmelerin, hesaplamaların yapılması ve sonuçların da belirli bir biçimde üretilmesi gerekir. Bu tür işlerde bilgisayar sistemlerinin kullanılmasının gereği, anlamı görülebilmektedir.

*Hesaplama*, veri işlemeden biraz daha farklı olarak, veri yığınları üzerinde işlem yapmaktan çok, belli bir tekil veri ya da veri öbeği elde etmeyi amaçlayan işlem türü olarak tanımlanabilir. Bu işlem türünün de daha iyi anlaşılması için bir örnek vermek gerekirse, matematiksel, karmaşık, yüksek duyarlılık gerektiren işlemler ele alınabilir. Daha da özel bir örnek olarak PI sayısının gerçek değerinin yüksek duyarlılıkla hesaplanması verilebilir. Bu tür bir işlemde işlenmesi gereken büyük veri yığınlarından çok, ardışık (ya da özyineli), çok fazla adım söz konusudur. Bilgisayar sistemlerinin bu alanda da kullanımının, ya da bu tür amaçlar doğrultusunda geliştirilmesinin ne kadar anlamlı, gerekli

olduğu görülebilmektedir. Nitekim, bilgisayar sistemlerinin bu yönde geliştirilmesi ile bilim dünyasında sayısız probleme çözüm bulunmuş ya da bu amaç doğrultusunda etkili bir araç edinilmiştir.

Bahsedilen veri işleme ve hesaplama işlemlerinin yanı sıra artık bilgisayar sistemlerinin ve daha çok yazılım sistemlerinin kişisel bilgisayar kullanımının, verimliliğinin de artırılmasında önemli kıstaslar, amaçlar arasında yer aldığı görülmektedir.

## 2.2. Bilgisayar Ağlarının Geliştirilme Amaçları ve Süreci

Bilgisayar sistemlerinin oldukça gelişip, belirli bir seviyeye ulaşmalarından sonra, bu alanda çeşitli amaçlar da göz önüne bulundurularak yeni arayışlara girilmiştir. Daha gerçekçi bir ifade ile, bu gelişmeler bir arayışın sonucu olmaktan çok, neredeyse kendiliğinden ortaya çıkmıştır. Bu süreç içerisinde amaçlananlar da çok temel olarak incelendiğinde, iki ana madde belirlenebilir:

- Veri paylaşımı
- Yüksek işlem gücü

*Veri paylaşımı*, insanların, daha ileri safhalarda dolaylı olarak sistemlerin, uygulamaların elde ettikleri verileri daha anlamlı kılmak üzere diğer insanlara, sistemlere aktarma gereksinimleri ya da aynı veriler üzerinde ortak çalışma yaklaşımının gelişmesi sonucu ortaya çıkmış bir kavramdır. Bilgisayar ağları, tahmin edileceği üzere, bu amaç için en uygun altyapıyı sunar.

*Yüksek işlem gücü*, bilgisayar sistemlerinin az sayıda, maliyette ek donanım bileşeni ve yazılım desteği ile uygun nitelikli bir işe için paralel çalıştırılabilirliğinin anlaşılması üzerine amaç edinilmiştir. Bu amaç şimdiki değin açıklanan (bilgisayar sistemlerinin geliştirilme süreci de dahil) tüm gelişim süreçlerinin de bir uzantısı niteliğindedir.

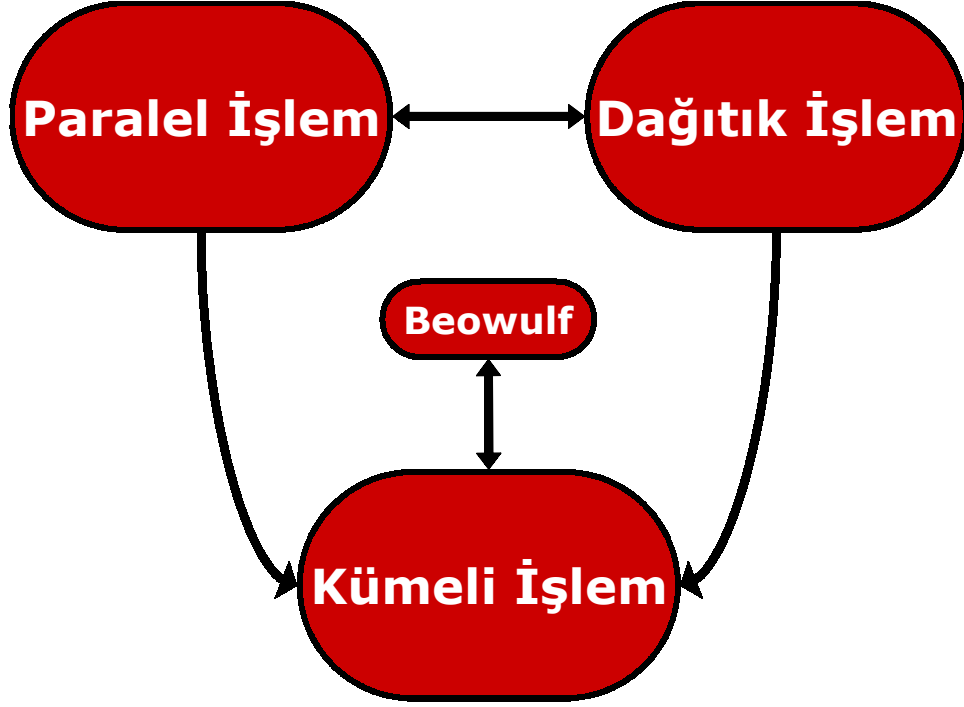
Bilgisayar ağları da günümüzde oldukça karmaşık kavramsal ve fiziksel boyutlara varmış; bilgisayar, eğitim ve iş dünyasının en temel araçlarından birisi olmuştur.

## 3. İşlem Türleri

Bilgisayar ağlarının gelişmesine paralel olarak bu sistemlerden daha verimli bir şekilde faydalanabilmek için çeşitli mimari yaklaşımlar ve işlem türleri ortaya çıkmıştır. Bahsedilen işlem türlerini kabaca aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Paralel İşlem
- Dağıtık İşlem
- Kümeli İşlem

Bu tür bir sınıflandırma çok gerçekçi olarak kabul edilmeyebilir. Çünkü bu işlem türleri arasında kesin sınırlar çizmek, ya da her türlü işlemi bunlardan birisinin kapsamına sokmak her zaman için olası değildir. Ancak, yine de genel bir fikir vermek üzere ve konunun da daha iyi anlaşılması için bu tür bir sınıflandırmanın yerinde olacağı düşünülmüştür.



Bu işlem türlerinin ayrıntıları sonraki bölümlerde verilecek olmasına rağmen aşağıda kısaca genel özellikleri verilmiştir:

Paralel İşlem, aynı işin parçaları üzerinde farklı sistemlerin paralel olarak çalışması ve işlem yükünün dağıtılması olarak tanımlanabilir. Tabii ki her işin bu tür işleme uygun olması söz konusu değildir. Ancak, bu işlem türü diğer tüm (bilgisayar ağları üzerinde gerçekleştirilen) işlem türlerine temel teşkil eden bir işlem türüdür. Doğrudan kullanımını örneklemek yerine, bu işlem türünün diğer işlemler içinde ne şekilde kullanıldığını görmek daha yerinde olacaktır.

Dağıtık İşlem, aynı işin farklı parçaları üzerinde, ki burada iş kavramı oldukça geniş tutulabilir, farklı sistemlerin, bir coğrafi birlik ya da zaman kısıtı düşünülmeden yürütülebilecek bir işlem türüdür. Dağıtık işlem, anlaşılacağı üzere, Paralel İşlemi içinde barındırır (Ayırt etmenin de zor olduğu düşünülebilir). Bu işlem türü dünya çapında çok büyük projelerin yürütülmesi için de kullanılan oldukça etkili bir işlem türüdür.

Kümeli İşlem, aynı işin parçaları üzerinde bir grup bilgisayarın, tek bir bilgisayar sistemi gibi işleyip çalışmasıdır. Kümeli sistemlerin karmaşık ağ alt yapısı kullanıcıdan soyutlanır ve kullanıcı için



tek bir süper-bilgisayar sistemini kullanıyor havası yaratılır. Bu işlem türü de doğası gereği paralel işlem temellidir.

Bu belgenin asıl konusu olan Beowulf Sistemleri de Kümeli İşlem türünü temel alan bir sistem olarak incelenir.

### 3.1. Paralel İşlem Öncesi

Bilgisayar ağlarının geliştirilmesiyle ortaya çıkan işlem türlerine geçmeden önce ağlar geliştirilmeden bilgisayar sistemlerinde kullanılan işlem türleri aşağıda incelenmiştir.

Öncelikle tek iş düzeninin varlığından bahsedilmektedir, tek iş düzeninde, adından da anlaşılacağı gibi, aynı anda sadece bir tek işin işleme alınabildiği sistemlerden bahsedilmektedir. Bu sistemlere örnek olarak üzerinde MS-DOS çalışan bir bilgisayar sistemini verebiliriz.

Tek iş düzeninden sonra sistem kaynaklarından elde edilebilecek başarıyı artırmak üzere çok iş düzenine geçiş görülmektedir. Çok iş düzeninde aynı anda birden çok iş işleme alınabilmektedir. Bu tür sistemlere örnek olarak tek işleyici üzerinde çalışan UNIX (veya Windows NT) sistemleri verilebilir.

### 3.2. Paralel İşlem

Bilgisayar ağlarının geliştirilmesiyle karşılaşılan işlem türlerinde biri paralel işlemdir. Paralel işlem eş anlı çalıştırılabilecek işlerin ayrı işleyiciler üzerinde (aynı bilgisayarda veya farklı bilgisayarlarda) çalıştırılmasıdır. Burada tanımında da verildiği gibi ayrı işleyiciler aynı bilgisayar sisteminde bulunabilmekte bu durumda yapılan paralel işleme merkezi paralel işlem ya da farklı bilgisayar sistemlerinde bulunabilmektedir bu durumda yapılan paralel işleme dağıtık paralel işlem denmektedir. Paralel işleme örnek olarak birden çok işleyici üzerinde çalışan UNIX (veya Windows NT) sistemler verilebilir.

### 3.3. Dağıtık İşlem

Bilgisayar ağlarının gelişmesiyle birlikte yaygın olarak kullanılan diğer bir işlem türü dağıtık işlemdir. Dağıtık işlem, eş anlı çalıştırılabilecek işlerin *ayrı* bilgisayar sistemleri üzerinde *ileti gönderimi* ile paralel olarak çalıştırılmasıdır. Dağıtık işlemde ileti gönderimi ile iletişim kurulmaktadır; çünkü bu diğer iletişim kurma yöntemi olan paylaşımlı bellek yöntemi kullanıldığında sistemin belli bir yerde olma zorunluluğu bulunmaktadır, bu durum dağıtık işlem bağlamında istenmeyen bir durumdur. Dikkat

edilmesi gereken bir diğer nokta da dağıtık işlem kapsamında yürütülecek işlerin ayrı bilgisayar sistemlerinde koşulmasıdır, eğer bu işler aynı bilgisayar sistemlerinde koşulursa merkezi paralellik olarak algılanmalıdır. Dağıtık sistemlere örnek olarak ileti gönderimi yoluyla iletişim kuran ve her sisteminde bir ya da daha fazla işleyici iğeren ve üzerinde UNIX veya NT işletim sistemleri ęalıřan sistemler verilebilir.

### 3.4. Kümeli işlem

Beowulf sistemlerinin taban aldığı işlem türü kümeli işlemdir. Kümeli işlem birden fazla bilgisayar sisteminin paralel ve dağıtık işlem özelliklerini de kullanarak tek bir bilgisayar sistemi gibi işlemesi olarak tanımlanabilir. Kümeli işlemin, dağıtık işlemden farkı kullanıcıya tek bir sistem kullanıyor gib görünmesidir, yani işlerin birden ęok bilgisayara paylaştırılması kullanıcıya saydamdır. Tanımında da belirtildiği gibi kümeli işlem doğası gereği paralel işlem özelliklerini de iğerir. Bilgisayar ağlarının gelişmesiyle ortaya ęıkan işlem türlerinde özel donanım ve yazılım gereksinimleri vardır. Ayrıca kümeli işlem kapsamında ele alınacak işlerin yapıları gereği bu tür işleme olanak vermesi gerekmektedir, yani programlar birbirinden bağımsız olarak işletilebilecek bölümlere sahip olmalıdır.

Kümeli işlemin tanımında da belirtildiği gibi kmeki sistem kullanıcıya tek bir sistem olarak görünmektedir; fakat burda dikkat edilmesi gereken sistemdeki tüm bilgisayarların kullanıcıların kullanımına ağık olduğudur. Ayrıca kümeli işlemden tüm bilgisayarlar dış dünyaya açıktır dolayısıyla genelde ye sistemlerin iş yükünün az olduğu zamanlarda (haftasonları, geceleri vs.) kümeli işlem geręekleřtirilmektedir. Bu tür sistemler için bir yerel ağa bağlı NT iş istasyonları kümesi örnek olarak verilebilir.

Bu belgenin asıl konusu olan Beowulf sistemlerinin taban aldığı işlem türü olan kümeli işlem avantajları ve dezavantajları ile birlikte aşağıda incelenmiştir.

#### **Kümeli sistemlerin avantajları:**

- Birden ęok bilgisayarın kaynakları kulanıldığından bir bilgisayar sisteminin kullanılmasından elde edilebilecek ęok daha yüksek seviyede başarım ve işlem gücü elde edilmesi kümeli sistemlerin kullanılması cazip kılan en önemli özelliğidir.
- Kümeli işlem ękmelere karşı etkin bir koruma sunmaktadır. Bir bilgisayarın ękmesi durumunda o bilgisayara verilmiş olan iş hemen başka bir bilgisayara yönlendirilerek yapılmakta olan işin aksaması önlenmektedir, ayrıca bir sonraki maddede verilecek olan kolay genişletilebilme özelliği sayesinde ękmř olan bilgisayar daha sonra kolayca sisteme yeniden kazandırılabilir.

- Kümeli sisteme bir bilgisayar dahil edilmek istendiğinde bu bilgisayarın işletim sistemi sistemdeki diğer bilgisayarlardan kopyalanarak kurulabilmekte ve ufak ayar değişiklikleriyle bu bilgisayar sisteme kolayca dahil edilmektedir.

#### **Kümeli sistemin dezavantajları:**

- Kümeli işleme tabi tutulacak uygulamalar daha önce de belirtildiği gibi doğaları gereği paralel işleme uygun olmalı ve bu tür uygulamaların sayısı oldukça sınırlıdır.
- Bilindiği üzere kümeli işlem bilgisayar ağlarının gelişmesi sonucu ortaya çıkmış olan bir işlem türüdür; ancak kümeli işlemdeki en büyük sorunlar ağ iletişiminden kaynaklanmaktadır.
  - Verilerin sürekli olarak ağ üzerinde bulunmasından dolayı gerekli önlemler alınmazsa gizliliklerinin ihlal edilme ve bütünlüğünün bozulma olasılığı vardır.
  - Bu tür sistemlere uygun yazılımların (işletim sistemi gibi) geliştirilmesinde ağ yönetiminin dikkatlice ele alınması gerektiğinden yazılımlar oldukça karmaşıklaşmaktadır.
  - Ayrıca verilerin ağ üzerinde sürekli olarak bulunması gerekli önlemler alınmazsa bazı güvenlik açıklarına neden olabilir.

## **4. Beowulf**

### **4.1. Beowulf Nedir?**

Beowulf, İngiliz edebiyatındaki ilk epik eserin kahramanının ismidir. Bir bilgisayar sistemi olarak Beowulf, ismini, kökeninden esinlenerek almıştır. Bahsedilen edebiyat eserinin kahramanı düşmanlarını hikâyede alt ederek bir çok başarı kazanmış ve bir çok kimseyi özgürlüğüne kavuşturmuştur. Beowulf Sistemi de diğer benzer sistemlere göre üstünlükler göstermiş ve kıstas aldığı unsurlardaki yüksek başarısı ile bilgisayar sistemlerinin geleceği için bir çıkış açmıştır. Beowulf sistemlerinin isminin kökenini verdikten sonra daha kesin olarak, belirleyici bir tanım aşağıdaki gibi verilebilir:

Beowulf, düşük maliyetli, çok bilgisayarlı yapısı kullanıcıdan soyutlanmış, yüksek başarılı bir süper-bilgisayar sistemidir.

### **4.2. Beowulf Sistemlerinin Ayırt Edici Özellikleri**

Bir Beowulf sistemi Kümeli bir sistem olarak doğal olarak Kümeli sistemlerin bir çok özelliğini içinde barındırır, ancak bazı önemli kıstaslara yönelik olarak ayırt edici özellikleri vardır. Beowulf

sistemlerinin tanımında da verilen “düşük maliyet” ve “yüksek başarımlı” kıstasları ayırt edici özelliklerin belirlenmesinde etken unsurlardır.

Bir Beowulf sistemi, bir ana sunucu bilgisayar, gerekiyorsa uygun sayıda ara sunucu bilgisayar ve uygun sayıda uç bilgisayardan oluşur. Uç bilgisayarların sayısı, maliyet ve başarımlı kıstasları için önemli bir parametredir.

Uç bilgisayarlarda ekran, fare, klavye gibi birimler genellikle bulunmaz. Çünkü bir bilgisayar sisteminin çalışması için, bu birimler olmazsa olmaz nitelikli birimler değildir. Eğer gerekiyorsa ve genelde de tercih edilen yöntem olarak, tek bir ekran, fare ve klavye tüm bilgisayarlar arasında anahtarlanarak paylaşılır.

Bir Beowulf sistemindeki tüm uç bilgisayarlar dış dünyadan erişime kapalıdır. Çünkü Beowulf, tek bir bilgisayar sistemi gibidir ve bu sistemin kullanıcıya ve dış dünyaya dönük tarafı sadece ana sunucu bilgisayardır.

Beowulf sistemlerinin tek bir bilgisayar sistemi gibi davranması, çalışması, görünmesi için karmaşık ağ alt yapısı gelişmiş ve ayrıntılı yazılımlar ile kullanıcıdan gizlenir. Kullanıcı, işlerini, karşısında tek bir (süper) bilgisayar varmış gibi sunar.

Tüm sayılanların hem gerekçesi hem sonucu olarak Beowulf sistemleri düşük maliyet ve yüksek başarımlı kıstaslarını taban alır.

### **4.3. Bileşen Seçimi Kıstasları**

Bir Beowulf sisteminin kurulması için gereken donanım ve yazılım bileşenlerine geçmeden önce bu bileşenlerin seçiminde dikkat edilecek kıstaslar incelenecek olursa:

Öncelikle “düşük maliyet yüksek başarımlı” ilkesinin yerine gelebilmesi için maliyetler mümkün olduğunca düşük olmalıdır.

Bileşen seçiminde dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da seçilen bileşenler birden fazla üretici tarafından desteklenmelidir. Örneğin sistem kurulumunda Intel marka işleyicilerin kullanılması durumunda bu işleyicileri üreten birden çok firma olduğundan sistemin kurulum ve bakım aşamalarında daha esnek seçim şansı olacaktır.

Dikkate alınması gereken diğer bir nokta da sisteme kurulacak işletim sistemi bu bileşenleri destekler olmalı; ayrıca bunun tersi de sağlanmalı, yani seçilen bileşenlerin kurulacak işletim sistemini destekliyor olması gerekmektedir.

## 4.4. Gerekli Donanım Bileşenleri

Bir Beowulf sistemi kurabilmek için gerekli donanım bileşenleri iki başlık altında incelenebilir: Temel donanım bileşenleri ve ek donanım bileşenleri. Temel donanım bileşenleri Beowulf sistemini kurabilmek için bulunması gereken en az bileşenlerdir. Daha önce de belirtildiği gibi Beowulf sisteminde sunucu bilgisayar(lar) ve uç bilgisayar(lar) bulunmaktadır, dolayısıyla gerekli bileşenler incelenirken iki tip bilgisayar için ayrı ayrı ele alınacaktır.

Sunucu bilgisayar iđin ana iřlem birimi, ana bellek gibi temel bileřenlere ek olarak ekran, klavye, fare, CD-ROM ve disket sūrücü gerekmektedir ve bunlara ek olarak iki adet Ethernet kartına gereksinim vardır, biri sistem iđi diđer diř dūnyayla bađlantıyı sađlayabilmek iđin kullanılır.

Uđ bilgisayarlar iđin ise yine temel bileřenlere (ana iřlem birimi, ana bellek) ek olarak disket sūrücü gerekmektedir. Burada disket sūrücü hem ikincil bellek olarak hem de sistemi bařlatmak amacıyla kullanılır. Uđ bilgisayarlar iđin ayrıca sistem iđi iletiřimi sađlayabilmek iđin bir adet ethernet kartına ihtiyađ vardır.

Tūm bilgisayarlar arasındaki iletiřimi sađlayabilmek iđin sisteme bir de ethernet anahtarı dahil edilmelidir.

řu ana kadar verilen donanım bileřenleri ile temel bir Beowulf sistemi kurmak mūmkündür ancak sistem geniřletilmek istenirse izleyen kesimde verilecek olan bileřenler de kullanılabilir:

Eğer sistemde dağıtık paralel işleme ek olarak bir de merkezi paralel işlemden yararlanılmak istenirse sunucu ve uç bilgisayarlara ek bir işleyici ve bunu destekleyen anakart sağlanabilir.

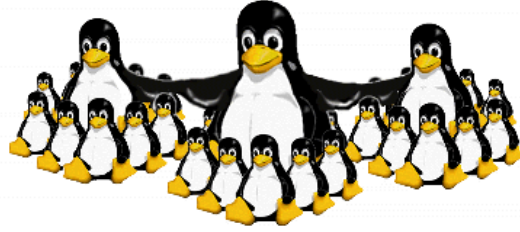
Daha önce temel Beowulf sisteminin kurulumunda uđ bilgisayarlara iđin sabit disk birimleri ōngörūlmemiřti; eđer bu bilgisayarlara da iřletim sistemi kurmak ve sunucu bilgisayarın kendisine verdiđi iřlerden bařka iřler de yapabilmesi istenirse bu bilgisayarlara da ikincil bellek birimi olarak sabit disk eklenebilir.

Beowulf sisteminin temel ōzellikleri verilirken uđ bilgisayarların diř dūnyaya kapalı olduđu belirtilmiřti maliyetin oldukça dūřuk tutulabilmesi iđin bu bilgisayarlara klavye, fare, ekran gibi birimler sađlanmamıřtı ancak bu bilgisayarlara giriř yapılmak istenirse (sadece kurulum ve bakım amađlı) bu

birimler (ekran, fare, klavye) için bir anahtar eklenerek bu birimler kullanılarak tüm uç bilgisayarlara giriş yapılabilir.

## 4.5. Gerekli Yazılım Bileşenleri

Tüm bilgisayar sistemlerinin olduğu gibi Beowulf sisteminin de temel yazılım bileşen işletim sistemidir. Beowulf sistemlerinin gerçekleştirim kriterleri göz önüne alındığında hiç de şaşırtıcı olmayacak şekilde kullanılan işletim sisteminin **Linux** olduğu görülür. Linux işletim sisteminin seçilmesinde rol oynayan önemli unsurlar aşağıda sıralanmıştır, bu unsurlar Linux işletim sisteminin temel özellikleri olarak ortaya çıkar.



Linux,

- tamamen ücretsizdir.
- gelişmiş görev, bellek, kütük ve ağ yönetimi sağlar.
- gelişmiş kütüphaneler ve program geliştirme araçları sağlar.
- grafik arayüzü sunar.
- en güvenilir işletim sistemlerinden birisidir.

Tabi ki burada Linux işletim sisteminden kasıt güvenilir bir Linux Dağıtımdır. Bu tür bir dağıtımdan teknik destek de alınması düşünülürse tabi ki maliyetin biraz artacağı açıktır, ama sonuçta Linux tüm sağladıkları ile Beowulf sistemlerinin vazgeçilmez bir bileşenidir.

İşletim sistemi gereksinimi için elbette ki Windows NT ya da Solaris gibi sistemler seçilebilir. Windows NT sistemlerinin özellikle 2000 sürümünden sonra kümeli sistemlerin kurulum ve kullanımını olağanüstü kolaylaştıran özellikleri vardır. Solaris gibi bir işletim sistemi de her yönüyle güvenilir bir sistemdir. Ancak, düşük maliyet kriterine çok uygun olan Linux, bu tür sistemlerde seçilmesi gereken işletim sistemi olarak öne çıkmaktadır. Bu tercihin yerini zorunluluğa bıraktığı bile söylenebilir, çünkü genel kanı olarak bu tür bir sistemde Linux'un işletim sistemi olarak kullanılmaması durumunda sistem genellikle bir Beowulf sistemi olarak nitelenmemektedir.

Kurulan işletim sistemi hem sistemdeki tüm bilgisayarların çalışması hem de ağ alt yapısının kurulması için yeterlidir. Ancak, sistemi paralel işleri yürütebilecek ve bu işi de kullanıcıdan soyutlayabilecek bir yapıya bürünmesi için bazı paralel ortam yazılımlarına gereksinim vardır. Bu paralel ortam yazılımlarını kesin olarak gruplamak zor olsa da aşağıdaki gibi sınıflandırılıp, örneklebilirler:

- Paralel işletim ortamının kurulumunu sağlayan özel yazılım(lar): Bu tür yazılımlar tüm sistemi tek bir sistem gibi kullanılmasını ve *uygun* yazılımların paralel ortamda çalıştırılmasını sağlarlar. Bu tür yazılımlara örnek olarak, sıkça kullanılan PVM (Parallel Virtual Machine) ve MPI (Message Passing Interface) verilebilir.
- Paralel programlamaya olanak sağlayan kütüphaneler ve derleyiciler: Bu tür yazılımlar (kütüphane ve derleyiciler), paralel ortamda işletilmeye uygun olarak uygulamaların geliştirilmesini ve oluşturulmasını sağlarlar.
- İş yönetici, görev zamanlayıcı: Bu tür yazılımlar, sistemin çalışması için mutlaka gerekli olmayıp, toplu işlemlerde kullanılacak, işlerin zaman dilimlerine bağlı olarak dağıtılmasını, yönetimi sağlarlar. Bu tür yazılımlara örnek olarak oldukça sık kullanılan ve günümüzde oldukça gelişmiş bir durumda olan PBS (Portable Batch System) verilebilir.
- Sistem izleme yazılımı: Bu tür yazılımlar yine sistemin işleyişi için gerekli olmayıp, sistemin durumunu izlemeyi ve başarımını gözlemeyi sağlarlar. Bu tür yazılımlara en güzel örneklerden birisi de ayrı bir kümeli sistem yazılımının parçası olan Mosixview'dir.

Bu yazılımların görevlerini ve birbirlerinden farklarını, günümüzde kesin bir şekilde belirlemek, daha doğrusu tanımlamak ve açıklamak kolay değildir. Örneğin PBS yazılımı günümüzde bu iş için başlı başına bir çözüm haline gelmiştir, kullanımı da grafik arabirimi ile oldukça kolaydır.

## 4.6. Sistem Kurulumu

Bir Beowulf sisteminin kurulumu donanımsal açıdan kolay (bilinen) bir şekilde tüm bilgisayarların ve ağ sisteminin kurulması ile gerçekleştirilir. Yazılım kurulumu ise daha karmaşık ve zordur. Aşağıda tüm kurulum süreci genel olarak anlatılmıştır.

Öncelikle sistemin parçaları olan tüm uç ve sunucu bilgisayarların kendi içlerindeki donanımsal kurulumları, yani birleştirilme süreci gerçekleştirilir. Tüm bilgisayarlar, duruma göre fare, klavye, ekran gibi birimlerine ya da bu birimlerin tek olduğu sistemlerde anahtara bağlanır. Tüm bilgisayarlar ağ sisteminin kurulumu için Ethernet anahtarına ve dolayısı ile birbirine bağlanır. Gerekli düzenlemeler, kablolar yapıldıktan sonra Beowulf sisteminin genel olarak donanımsal yapısı kurulmuş olur.

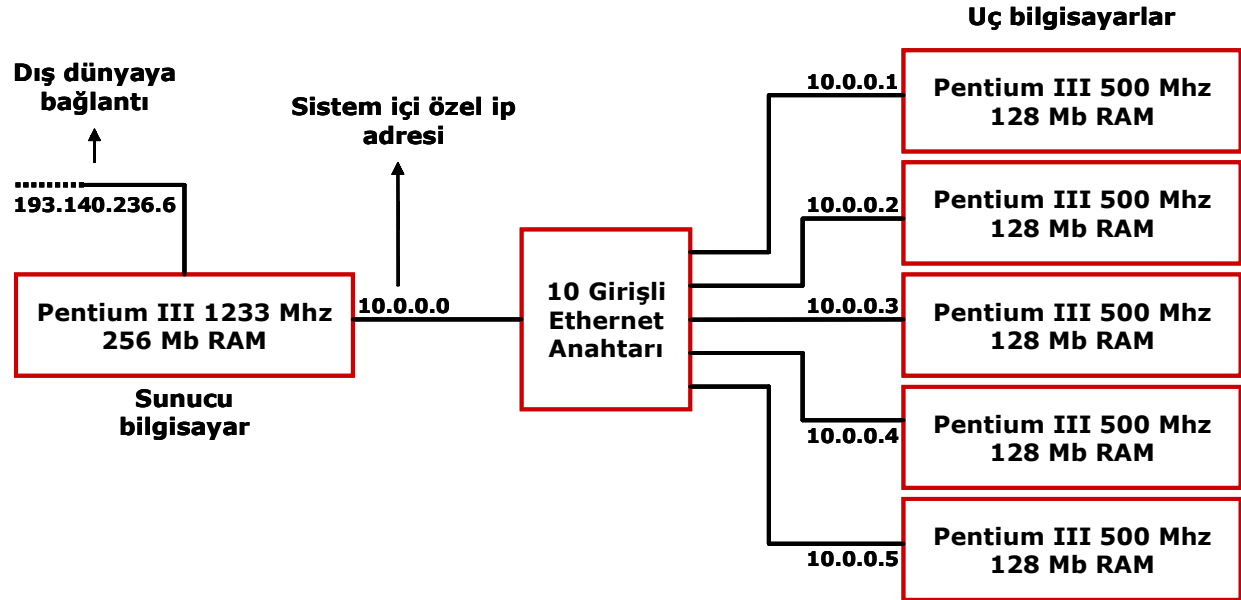
Yazılımsal kurulum kesiminde öncelikle ana sunucu bilgisayara işletim sistemi kurulur. Uç bilgisayarlara işletim sistemlerinin kurulumu için bir kaç farklı yöntem izlenebilir. Eğer uç bilgisayarlar

sabit disk içermiyorsa, hepsini başlatabilecek bir başlatma disleki oluşturulur ve bu disletle teker teker başlatılan sistemler ana sunucu bilgisayarın denetimine bırakılır. Eğer uç bilgisayarlar da sabit disk içeriyorsa, bu bilgisayarlardan birisine işletim sistemi kurulur, gerekli ayarlar yapılır ve bu sistemin sabit diskinin birebir kopyası diğer sistemlere aktarılır. Böylece oldukça hızlı ve kolay bir biçimde tüm bilgisayarların işletim sistemleri kurulmuş olur. Tabi ki uç bilgisayarların birbirlerinden farklılaşmaları için de bazı ayarlamalar yapılır, en basit örnek *ip* numaralarının atanması olarak verilebilir.

Genel işletim sistemi kurulumları tamamlandıktan sonra, işletim sistemi alt yapısı kullanılarak sistem içi ve sistem dışı ağ ayarları yapılır. Son olarak da artık birbirine donanımsal ve yazılımsal olarak bağlı olan sistemler üzerine paralel ortamın kurulumu için gerekli yazılımlar kurulur. Son bahsedilen kısım, bir Beowulf sisteminin kurulumundaki can alıcı ve en karmaşık konudur. Sadece bu kurulum sürecinin anlatımı yüzlerce sayfalık bir kitaba konu olabilir. Bu belge, bu tür sistemlerin içeriği, kurulumu ve işleyişi hakkında fikir verme amacıyla olduğu için detay bilgilere fazla yer verilmemiştir.

## 4.7. Şematik ve Gerçek Sistem Görünümleri

Şimdiye değin anlatılanların daha iyi anlaşılması ve idrak edilebilmesi için bir olası bir Beowulf sisteminin şematik çizimine ve gerçek bir Beowulf sisteminin de resmine yer verilmiştir.



Yukarıdaki çizimde 1 sunucu ve 5 uç bilgisayardan oluşan bir Beowulf sistemi örneklenmiştir. Şimdiye kadar bahsedilen bazı konular bu çizim üzerinde daha anlaşılır hale gelmektedir. Görüldüğü üzere uç bilgisayarlar özdeş ve sunucu bilgisayar ise uç bilgisayarlardan biraz daha yüksek nitelikli bir donanım bileşimine sahiptir. Bunun sebebi sunucu bilgisayarın sisteme sunulan işlerin bir kısmını



yapmanın yanı sıra, sistem içi ve dışı ağ yönetimini de yapacak olmasıdır. 10 girişli bir Ethernet anahtarı kullanılmasının bu sistem için özel bir anlamı olmayıp, sadece gelecek için bir yatırım ya da standart bir bileşen kullanılmış gibi düşünülebilir. Makinalara atanan sistem için *ip* numaralarının özel *ip* numaraları olduğu görülmektedir. 10. ile başlayan ip numaraları sadece yerel ağlarda ve bu tür kapalı sistemlerde kullanılabilen özel *ip* numaralarıdır. Bu şekilde bir yerde güvenlik ve sistemin bütünlüğü de bir ölçü de sağlanmaktadır. Sunucu bilgisayarın *ip* numaralarından birisi sistem içine dönük diğeri ise dış dünyadan erişim içindir. Dış dünyanın erişimi için atanan *ip* numarasının bildiğimiz türden, genel bir *ip* numarası olduğu görülmektedir.

Yukarıdaki şematik görünümü ve açıklamaları verilen örnek sistemden sonra, aşağıda gerçek bir Beowulf sistemi olan *Loki*'nin (<http://loki-www.lanl.gov/>) bir resmi verilmektedir. Bu resim ile de, daha önce değinilen bazı konuları örneklemek ve daha iyi anlaşılmasını sağlamak mümkün olacaktır.



Yukarıdaki resimde görüldüğü üzere kullanıcı sistemle iletişim için sadece bir bilgisayarı yani sunucu bilgisayarı kullanmaktadır. Diğer uç bilgisayarlar ise zaten fiziksel erişilme amacından uzak olarak bir dizi şeklinde raflara yerleştirilmişlerdir. Uç bilgisayarların her birinden çıkan fazlaca sayıdaki kablunun ağ bağlantılarının yanında, ekran, fare, klavye gibi birimlerin anahtarlarına bağlandığı söylenebilir. Böylece kullanıcı sistemdeki tüm bilgisayarla sadece tek bir ekran, fare ve klavye türü

birimlerle erişebilmektedir. Tabii ki bu erişimin sadece kurulum ya da bakım amaçlı, yani sistemin işleyişine dönük olduğu daha önce belirtilmişti.

## 4.8. Sistem Başarımı

Bir Beowulf sistemi kurmak için gereken yazılım ve donanım bileşenleri önceki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınmıştır; ancak bu sistemden yüksek başarımla elde edebilmek için göz önünde tutulması gereken noktalar bulunmaktadır:

Öncelikle kümeye uygun sayıda bilgisayar eklenmesi gerekmektedir; çünkü çok sayıda bilgisayardan oluşan bir kümeli sistemde bilgisayar kaynakları verilerin işlenmesinden çok ağ iletişimi için kullanılacaktır, bu durum Beowulf sistemlerinin temellerinden biri olan yüksek başarımla kuralını ihlal etmektedir.

Ağ trafiğini azaltmak dolayısıyla ağ haberleşmesinden kaynaklanabilecek hız düşüşlerini engellemek için sistemdeki bilgisayarlarda birden fazla işleyici (genelde iki tane) kullanmak sistem başarımını artırmak için izlenebilecek yollardan birisidir. Böylece merkezi paralel işlemde mesajlaşmanın ağ üzerinden mesajlaşmaya göre getirdiği yüksek hız avantajı kullanılabilir.

Sistem başarımını etkileyen en önemli faktörlerden biri ağ iletişiminin hızlı veya yavaş olmasıdır. Beowulf sistemlerinde daha önce bahsedildiği gibi Linux işletim sistemi kullanılır ve bu işletim sisteminde oldukça fazla ağ ayarı ve ayar seçenekleri bulunmaktadır dolayısıyla bu ayarların en iyilenmesiyle çok daha yüksek bir sistem başarımına ulaşılmaktadır.

## 4.9. Bir Uygulama Örneği

Beowulf sistemleri için gereken donanım ve yazılım bileşenlerini ve bunları kullanarak sistemin nasıl kurulduğunu inceledikten sonra Beowulf sistemlerinin kullanım amacını daha anlaşılır kılan bir örnek izleyen kesimde verilmektedir:

```
// belirli bir aralıktaki sayıların
// kareleri toplamını hesaplayan program
bilgisayar = SUNUCU bilgisayar mı UÇ bilgisayar mı?

for sayi = aralık_başlangıçım to aralık_sonum
    sonuç = sonuç + kare_hesapla(sayi)

if bilgisayar == UÇ
    SUNUCU'ya sonucumu gönder

else if bilgisayar == SUNUCU
    gelen_sonuçlar = uçlardan gelen sonuçlarını al
    sonuç = sonuç + gelen_sonuçlar
```

Yukarıda örnekte amaçlanan verilen aralıktaki sayıların karelerinin toplamını hesaplamaktır. Beowulf sistemlerinin kullanılma amacının belirlenmesi için bu örneğin kullanılmasının başlıca nedeni, örneğin birbirinden bağımsız olarak işletilebilecek bölümlere sahip olmasıdır, başka bir deyişle örneğin paralel işleme uygun olmasıdır. Belirli bir aralıktaki sayıların karelerinin toplamı dağıtık paralel işleme tabi tutulmadan  $n$  - *birim* zamanda hesaplandığı varsayılırsa bu işlem  $n$  adet bilgisayara sahip (sunucu ve ara bilgisayar(lar)) bir Beowulf kümeli sisteminde ises bu işlem sadece 1 *birim* zaman sürecektir.

## 4.10. Mevcut Uygulama Alanları, Bugünü ve Yarını

Önceki kesimde verilen örnekten elde edilen başarımlar düşünülürse günümüz eğilimlerinin Beowulf benzeri kümeli sistemlere doğru gittiği kolayca tahmin edilebilir. Nitekim Beowulf sistemleri günümüzde bilimsel araştırmalarda, mühendislik araştırmalarında, bilgisayar bilimlerinde, modellemelerde ve daha birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Donanım fiyatları düşüğe ve boyutları küçüldükçe bu tip kümeli sistemlerin kullanımı hiç kuşkusuz ki daha da yaygınlaşacaktır. Bu tip sistemlerin kullanımına olan eğilim Microsoft (Windows 2000 Cluster) ve Redhat (Redhat Linux Cluster) gibi firmaların bu sistemlere özel olarak çıkardığı işletim sistemi sürümlerinden ve uygulama yazılımı geliştiren firmaların (özellikle veri tabanı sistemleri) kümeli sistemlerde de çalışabilecek ürünleri piyasaya sürmesinde de anlaşılmaktadır.

# Kaynaklar

[Beowulf Project Official Site](http://www.beowulf.org/)

<http://www.beowulf.org/>

[Beowulf Underground](http://www.beowulf-underground.org/)

<http://www.beowulf-underground.org/>

[Beowulf Project at Goddard Space Flight Center](http://beowulf.gsfc.nasa.gov/)

<http://beowulf.gsfc.nasa.gov/>

[Beowulf - HOWTO](http://www.tldp.org/HOWTO/Beowulf-HOWTO.html)

<http://www.tldp.org/HOWTO/Beowulf-HOWTO.html>

[Richard Morrison's Cluster Computing Homepage](http://www.netSPACE.net.au/~morri/cct.html)

<http://www.netSPACE.net.au/~morri/cct.html>