

T. C. İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Bilişim Enstitüsü

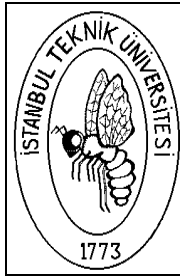
Yüksek Başarımlı Bir Girdi/Çıktı Sistemi : RAID

Bilgisayar Mimarisinde Yeni Yaklaşımlar

Prof. Dr. Bülent Örencik

Çağdaş Cirit
704061005

Aralık 07



Bu çalışma 2007 Güz Dönemi "Bilgisayar Mimarisinde Yeni Yaklaşımlar"
dersi dönem projesi olarak hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

1.GİRİŞ.....	4
2.RAID.....	4
2.1. RAID Tarihi.....	4
2.2. RAID Teknolojisine Yakından Bakış.....	5
2.3. RAID Çeşitleri.....	6
2.3.1. Yazılım RAID.....	6
2.3.2. Donanım RAID.....	6
2.3.3. Yazılım RAID, Donanım RAID'e Karşı.....	8
2.4. RAID Seviyeleri.....	8
2.4.1. Doğrusal Mod.....	8
2.4.2. RAID-0 (Şeritlere Ayırma).....	9
2.4.3. RAID-1 (Yansıtma).....	9
2.4.4. RAID-2 (Hamming Kod).....	10
2.4.5. RAID-3.....	10
2.4.6. RAID-4.....	11
2.4.7. RAID-5.....	11
2.4.8. RAID-6.....	12
2.4.9. Hibrit Katarlar.....	13
2.5. RAID Seviyeleri Karşılaştırmaları ve Öneriler.....	14
2.6. RAID: Getirileri ve Götürüleri.....	16
2.6.1. RAID'in Getirileri.....	16
2.6.2. RAID'in Götürüleri.....	17
3.Sonuç ve Değerlendirme.....	17
4.Referanslar.....	18

ŞEKİLLER

Şekil 1: Yazılım RAID	6
Şekil 2: RAID Denetleyici.....	7
Şekil 3: Harici RAID Sistemi.....	7
Şekil 4 : Basit bir DAA.....	8
Şekil 5: Doğrusal Mod.....	9
Şekil 6: RAID-0 (Şeritlere Ayırma).....	9
Şekil 7: RAID-1 (Yansıtma).....	10
Şekil 8: RAID-2 (g:32 c:7).....	10
Şekil 9: RAID-3.....	11
Şekil 10: RAID-4.....	11
Şekil 11: RAID-5.....	12
Şekil 12: RAID6: 2 “sıcak” diskli ve adım adım 2 disk hatası karşılama.....	13
Şekil 13: RAID-10.....	13
Şekil 14: RAID-50.....	14

TABLolar

Tablo 1: Yazılım ve Donanım RAID’in Avantaj ve Dezavantajları.....	8
Tablo 2: RAID Seviyeleri Karşılaştırmaları ve Öneriler.....	16

KISALTMALAR

RAID: Redundant Array of Independent/Inexpensive Disks

G/Ç: Girdi/Çıktı

OBS: Ortalama Bozulma Süresi

ODS: Ortala Değişirme Süresi

DAA: Depolama Alan Ağı

ECC: Error Checking and Correction

1. GİRİŞ

Bilgisayar işlemcileri ve belleklerdeki başarımların artışları eğer girdi/çıkış (G/Ç) sistemlerinde de başarımların artışı sağlanmazsa boşa harcanacaktır. Sistemin bazı parçalarının başarımlarını artırırken bazı parçalarının başarımlarını aynı kaldığında toplam başarımların ne kadar arttığı Amdahl'ın yasası [11] ile belirlenir.

$S=1 / ((1-f) + f/k)$ (Amdahl yasası) *S: etkin hızlanma, f: hızlı modda az miktar iş, k: hızlı modda hızlanma (1)*

Varsayalım ki bir uygulama zamanının %10'unu G/Ç işlemleri yaparken harcasın. Bilgisayar 10 kat hızlandığı durumda Amdahl yasasına göre etkin hızlanma 5 kat olacaktır. Başarımların kaybı %50 olacaktır. Bilgisayarın 100 kat hızlandığı durumda ise etkin hızlanma 10 kat seviyelerinde kalacak böylece başarımların kaybı %90 olacaktır. Bilgisayar mimarisinin çok hızlı geliştiği göz önünde alındığında bu duruma "ufukta beliren G/Ç krizi" denmektedir [1].

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki işlemci ve bellek sistemlerindeki başarımların artırma çalışmaları yanında muhakkak G/Ç sistemlerinde de başarımların artırmak gerekmektedir. Sabit disk G/Ç sistemlerinde başarımların artırmak için kullanılan en önemli yöntem *Redundant Array of Independent Disks (RAID)* adı verilen teknolojidir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde RAID teknolojisinin tarihinden, yapısından ve temel aldığı kavramlardan bahsedilecektir. Bir sonraki bölümde RAID çeşitleri, RAID seviyeleri, faydaları ve götöleri anlatılacak ve son olarak ta RAID seviyeleri arasındaki farklar ve hangi tip sistemler için hangi seviyelerin kullanılabileceği anlatılacaktır.

2. RAID

2.1. RAID Tarihi

IBM şirketinden Norman Ken Ouchi 1978 yılında "Başarısız Bellek Biriminde Saklanan Veriyi Kurtarma Sistemi" başlıklı bir patent hakkı aldı. Bu patentte sözü geçen konular daha sonra RAID olarak bilinecek olan sistemin de temellerini oluşturmaktaydı [9].

RAID kelimesi ilk olarak California Üniversitesi akademisyenleri olan David A. Patterson, Garth A. Gibson ve Randy H. Katz'ın 1988 yılında hazırladığı "A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID)" başlıklı çalışmada [1] kullanıldı. Burada dikkat çeken RAID kelimesindeki I harfinin Independent(bağımsız) kelimesinden değil Inexpensive (ucuz) kelimesinden geliyor olmasıdır. Çünkü; 1980 li yıllarda veri depolama birimlerinin maliyeti çok fazlaydı. Ucuz birimlerin ise kapasiteleri düşüktü. Bu 3 bilim adamı bu soruna karşı yaptıkları çalışmada ucuz ve az kapasiteli depolama birimlerini birleştirerek pahalı ve büyük kapasiteli birimlerin yerine kullanılabileceğini gösterdi. Ayrıca artık bilgi kullanılarak disk hatalarından kaynaklanan veri kayıplarına karşı belli bir seviye koruma da sağlanmış oldu [5]. Yapılan çalışmada prototip RAID seviyeleri ve bu seviyelerin teorik avantaj ve dezavantajlarından bahsedildi. Bu çalışmada bahsi geçen temel 5 seviye vardı [9]:

- 1. Seviye RAID: Yansıtılmış diskler
- 2. Seviye RAID: Hamming kod ve hata düzeltme

- 3. Seviye RAID: Her bir grup disk için 1 tane kontrol diski
- 4. Seviye RAID: Bağımsız okuma ve yazmalar
- 5. Seviye RAID: Tüm disklere yayılmış veri/eşitlik bilgisi (1 tane kontrol diskine değil)

Zaman içinde bu seviyeler geliştirilerek günümüz RAID seviyeleri haline getirildiler. Bazı seviyeler birleştirilerek yüksek başarımlı hibrit seviyeler oluşturuldu.

2.2. RAID Teknolojisine Yakından Bakış

RAID; birden çok fiziksel diski gruplayarak bir katarla dönüştüren ve bize bu katarı bir yada daha fazla mantıksal disk olarak tanımlayabilmemize imkan sağlayan bir teknolojidir. Herbir mantıksal disk işletim sistemine tek bir fiziksel diskmiş gibi görünür. Bu gruplama tekniği sayesinde tek bir fiziksel diskin fiziksel kısıtlamalarının önüne geçilerek mantıksal disk boyutu ve başarımlı artırılır. RAID teknolojisi sayesinde veri fiziksel disk katarı üzerinde parçalanarak şerit şeklinde aktarılır. Verinin hangi boyutta fiziksel disklere parçalanacağı bilgisine *şerit-birimi boyutu* denir [4].

Fiziksel disklerin bozulma ihtimallerine karşı sistem yöneticileri disklerin belli aralıklarla yedeklerini almaktadırlar. Peki fiziksel disklerin gruplanıp katar haline getirilmesi bu bütünün bozulma aralığını nasıl etkilemektedir? Bir fiziksel disk için sabit bir bozulma oranı ele alalım (bu oran hesaplanırken hataların zaman içerisinde exponansiyel olarak dağıldığı ve bozulmaların birbirlerinden bağımsız olduğu var sayılmaktadır) bu sabite *Ortalama Bozulma Süresi (OBS)* denir[1]. Bir katar fiziksel diskin güvenilirliğini bu sabiti kullanarak tanımlarsak;

$$\text{Katarın Ortalama Bozulma Süresi} : 1 \text{ Diskin OBS'si} / \text{Kataradaki disk sayısı} \quad (2)$$

Bu formül incelendiğinde anlaşılmaktadır ki kataradaki disklerin sayısı artırdıkça bütünün bozulma süresi yani güvenilirliği azalmaktadır. Buda göstermiştir ki *hata düzeltme* yapılmadan kullanılmaya çalışılan katar güvenilmezdir. Asıl amacı küçük diskler kullanarak büyük diskler kadar hatta onlardan daha fazla başarımlı sağlamak olan RAID sistemlerinin bir diğer önemli görevi ise veri kurtarma'dır. Disk hatası sonucu ulaşılamayan asıl verinin kurtarılabilmesi için kullanılan artık veri disklerin birinde yada birkaçında veya disklerin belli bölümlerinde saklanır. Bir disk kullanılamaz hale geldiğinde yerine yenisi konulana kadar artık veriden asıl veri oluşturularak bu veri kullanılmaya devam eder. Bozulan diskin yerine yenisi konana kadar geçen zamana *Ortalama Değişirme Süresi (ODS)* denir. Bu sürenin düşük tutulması çok önemlidir çünkü bu süre zarfında meydana gelecek bir disk arızası daha geri dönüşü olmayacak veri kayıplarına sebep olabilir. ODS'yi düşük tutmak için hazırda "sıcak" diskler tutulur ve bir hata anında bu diskler bozulan disklerin yerine elektronik olarak geçirilir [1].

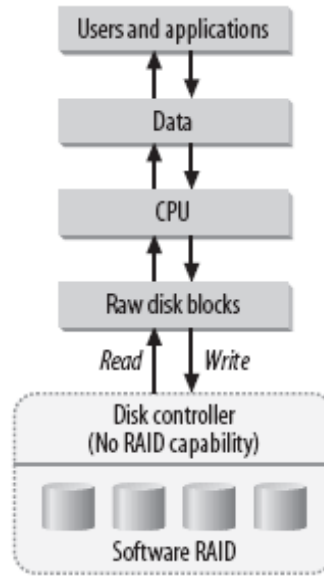
RAID teknolojisinde 3 anahtar kavram vardır: *yansıtma*; veriyi birden çok diske kopyalama, *şeritlere ayırma*; veriyi birden çok diske bölme, ve *hata düzeltme*; artık verinin problemlerin tespitinde ve düzeltilmesinde kullanılmak için saklanması (*hata dayanıklılığı* da denir). Sistem ihtiyaçlarına göre farklı RAID seviyeleri bu kavramlardan birini yada birkaçını kullanır. Sistemlerde RAID kullanılmasının ana amacı güvenilirliği artırmak, müşteri bilgileri veya banka hesap bilgileri gibi sistem için kritik olan veriyi korumak yada çok kullanıcı video sunucusu gibi sistemlerde yüksek hız sağlamaktır[9].

2.3. RAID Çeşitleri

RAID'de diğer bilgisayar teknolojileri gibi 2 şekilde uygulanabilir; donanımla ve yazılımla. Yazılım RAID, RAID işlemlerini gerçekleştirebilmek için bilgisayarın işlemcisini kullanır ve çekirdekte (kernel) gerçekleştirilir. Donanım RAID, katar yönetim işlemleri için genellikle disk denetleyicilerinin üzerinde bulunan özelleştirilmiş işlemciler kullanır [2].

2.3.1. Yazılım RAID

Yazılım RAID demek katar yönetiminin özelleştirilmiş donanım yerine Şekil.1'de görüldüğü gibi çekirdek tarafından yapılması demektir. Çekirdek bir çok diskin üzerinde veriyi nasıl organize edeceği bilgisini tutarken, uygulamalara kullanmaları için sadece bir sanal birim sunar. Bu sanal birim herhangi bir normal fiziksel disk gibi iş görür.



Şekil 1: Yazılım RAID

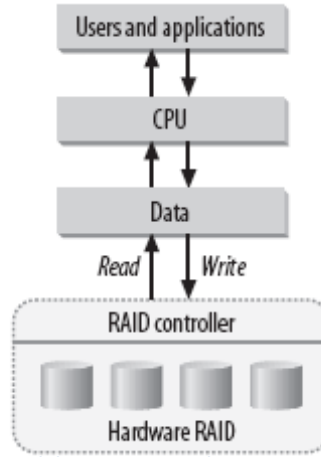
Yazılım RAID'in en büyük sorunu yüksek başarımlı RAID G/Ç'sinin işlemci üzerine getirdiği fazladan yüküdür. Çok yoğun işlemci kullanan sistemlerde bu fazladan yük, sistemin yavaşlamasına sebep olacaktır böylelikle genel başarımlı düşürecektir. Bir diğer önemli sorun ise yazılım RAID'in işletim sistemi tarafından yönetiliyor olmasıdır. İşletim sisteminin öncelikli görevleri arasında bu iş olmadığı için işletim sistemi geliştiren kişiler bu değeri sisteme sonradan dahil ederler. Bu şekilde sonradan dahil edilen parçalar yüksek hata oranı ve düşük başarımlı sebep olurlar.

2.3.2. Donanım RAID

Donanım RAID demek disk katarının RAID belleğini barındıran disk denetleyicileri tarafından yönetilmesi demektir. Donanım çözümleri farklı şekillerde olabilir. Disklere direkt olarak bağlı olan RAID denetleyici kartları, herhangi bir normal PCI disk denetleyicisi gibi çalışır. Bir diğer çözüm ise SCSI denetleyicilerine yada bir *Depolama Alan Ağı (DAA)* oluşturmak için birbirlerine bağlı *harici saklama dolaplarıdır*. Tüm çözümlerin ortak yanı ise işletim sistemleri tarafından sadece bir blok birim olarak görünmeleridir. Çünkü; katarın kendisi denetçi tarafından yönetilmekte ve gizlenmektedir.

2.3.2.1. RAID Denetçileri

Bazı disk denetleyicileri dahili olarak RAID'i desteklerler ve işlemcinin yardımı olmadan diskleri yönetirler (Şekil 2). Bu kartlar genellikle disk katarlarını yönetme ve ayarlama ile görevli olan bir BIOS barındırırlar.

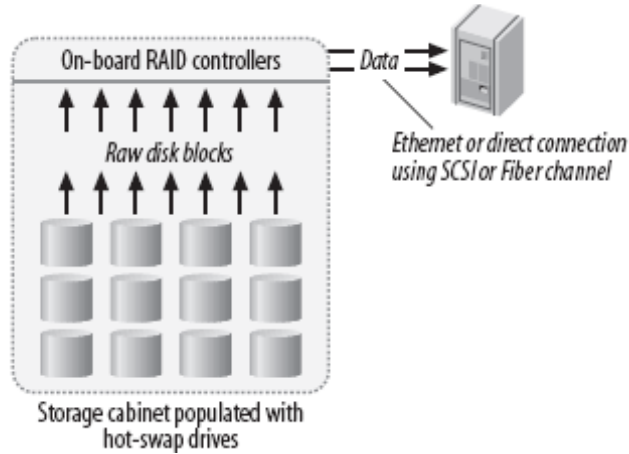


Şekil 2: RAID Denetleyici

Bazı RAID denetçisi üreticileri: Adaptec, Inc., Applied Micro Circuits Corporation , Broadcom Corporation , Emulex, EqualLogic Inc., Intel Corporation , IBM, Intelligent Computer Peripherals, LSI Logic Corporation , Promise Technology Inc. [7].

2.3.2.2. Harici Çözümler

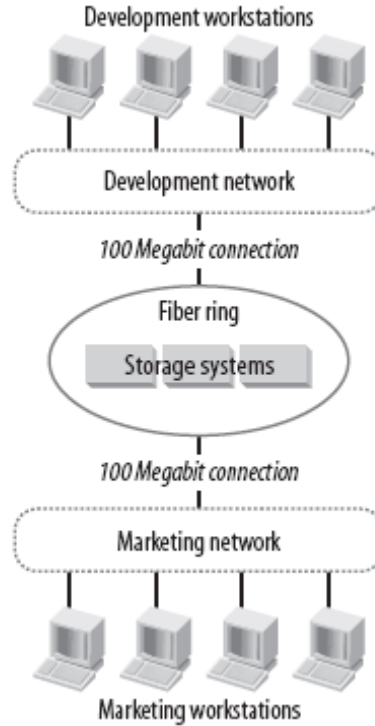
Bu dış birim katar disklerini ve "sıcak" diskleri barındıran bir dolap şeklindedir. Sisteme normal veya yüksek performans SCSI denetleyicileri ile dahil edilirler. Bu dış birimler işletim sistemlerine standart bir SCSI bloğu yada ağ bağlantı noktası şeklinde görünür (Şekil 3) böylece bir işletim sistemi modülüne yada sürücüsüne ihtiyaç duyulmaz. Bu dış birimler oldukça pahalıdır ve bir kara kutu gibi iş görürler.



Şekil 3: Harici RAID Sistemi

2.3.2.3. Depolama Alan Ağı (DAA)

Bu sistemde çeşitli depolama platformları genellikle yüksek hızlı ağla birbirine bağlıdır (Şekil 4). DAA şirket içi yerel ağlara bir yada birden çok noktadan bağlıdır. DAA çözümleri çok pahalı çözümlerdir. DAA RAID'e bir alternatif değildir tersine RAID DAA'nın kalbindedir. DAA bir robotik bant yedek alma biriminden ve birçok RAID sisteminden oluşur.



Şekil 4 : Basit bir DAA

2.3.3. Yazılım RAID, Donanım RAID'e Karşı

	Avantajları	Dezavantajları
Yazılım RAID	<ul style="list-style-type: none"> - Donanım gerektirmediği için düşük maliyet - Ayar değişiklikleri kolay ve esnek. 	<ul style="list-style-type: none"> - İşlemci üzerinde fazladan iş yükü
Donanım RAID	<ul style="list-style-type: none"> - İşlemci üzerine fazladan iş yükü getirmediği için yüksek başarımlı 	<ul style="list-style-type: none"> - Yazılım RAID'e göre daha maliyetli (Günümüzde bu maliyet gün geçtikçe azalmaktadır) - Yazılım RAID'e göre ayar değişikliği daha az esnek

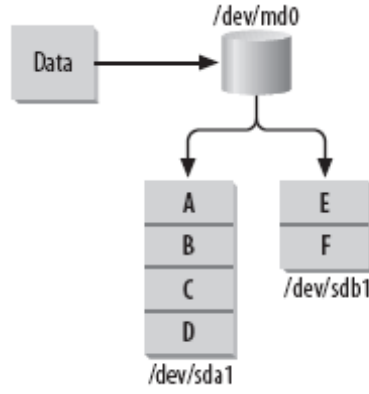
Tablo 1: Yazılım ve Donanım RAID'in Avantaj ve Dezavantajları

Günümüz şartlarında RAID denetçilerinin maliyeti eskiye nazaran çok düşmüştür. İşlemci üzerine ek yük getirmediği için ve karşılanabilir maliyetli olduğu için günümüzde donanım RAID'ler çokça tercih edilmektedir.

2.4. RAID Seviyeleri

2.4.1. Doğrusal Mod

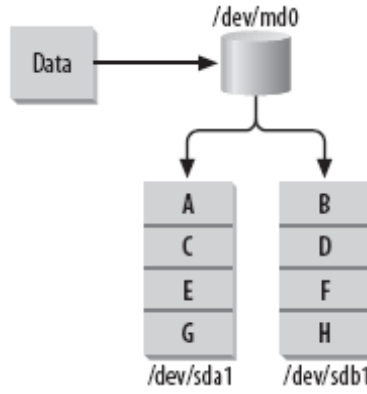
Bu modda diskler birbirinin ardı sıra bağlanır ve böylece büyük boyutlu bir disk elde edilir (Şekil 5). Bu tür sistemlerde artıklık saklama yoktur ve başarımlı artışı görülmez. Bir disk dolduğunda veri diğer diske yazılarak devam edilir. Bu yöntem diskler farklı boyutlarda, hızlarda ve tiplerde ise kullanılabilir [2]. Bir veri dolmadan kaynaklanan birden fazla diske yazılırsa yazmada ve okumada başarımlı kayıpları görülür. Disklerdeki herhangi bir arıza veri kaybına sebep olur.



Şekil 5: Doğrusal Mod

2.4.2. RAID-0 (Şeritlere Ayırma)

Veri basitçe disklere bölündüğünden ve artıklık kaydı yapılmadığından tam bir RAID sayılmaz. Zaten Berkeley belirtiminde[1] bu seviyeden bahsedilmez. Denetçi veriyi parçalayarak round robin tarzı bir yöntemle farklı diskler üzerine yazar (Şekil 6).

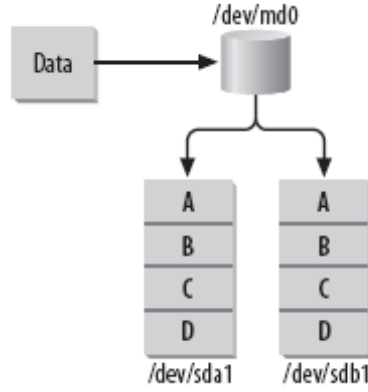


Şekil 6: RAID-0 (Şeritlere Ayırma)

Bu seviye en yüksek başarıma sahip seviyedir. Diskler aynı boyutta oldukları sürece, azami miktarda kullanılabilir disk alanından yararlanılabilir. Diskler farklı boyutlarda olursa en küçük boyutlu diskin boyutu kadar alandan yararlanılabilir. RAID-0'da artıklık olmadığından herhangi bir diskte meydana gelen arıza tüm verinin kullanılamaz hale gelmesine sebep olur. Bu tür bir RAID seviyesi, yoğun disk erişimine ihtiyaç duyulan ve veri kayıplarının kabul edilebileceği sistemler için uygundur. Sistem yedeklerine kolay erişilebilen veya verinin bir kopyasına sistemin başka bir yerinden erişilebildiği ortamlarda RAID-0 kullanılabilir.

2.4.3. RAID-1 (Yansıtma)

RAID-1 tam bir artıklık sağlar çünkü disk hatalarında özel veri kurtarma algoritmalarına ihtiyaç duymadan çalışmasını sürdürebilir. Veri blok blok her bir diske yansıtılır (kopyalanır)(Şekil 7). Böylelikle N adet disk barındıran bir RAID-1, N-1 adet disk arızalansa bile veri kaybı olmadan çalışmaya devam edebilir.



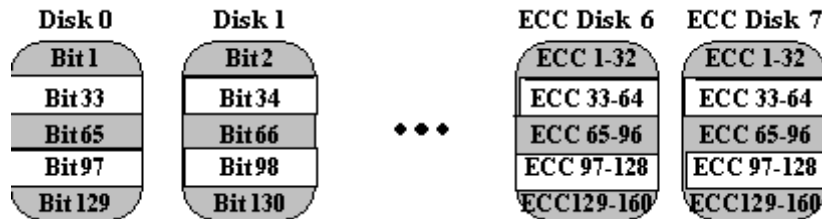
Şekil 7: RAID-1 (Yansıtma)

Katardaki disk sayısı arttıkça yazma başarımı düşer çünkü her bir veri bloğu yazma işlemi için tüm disklere vuru yapılır. Bunun yanında disklere paralel şekilde vuru yapılarak çok tatmin edici okuma başarımı elde edilir. Kullanılabilir toplam disk boyutu en azından yarıya indiği için RAID-1 sistemleri maliyetli olabilir. Sürekli ayakta kalması gereken sistemlerde, yazmadaki başarımları kabul edilebilirse, bu seviye RAID uygulanabilir.

2.4.4. RAID-2 (Hamming Kod)

Bu yöntemde bilgisayar belleklerinde (DRAM) kullanılan yöntemin benzeri kullanılmaktadır. Veri bit düzeyinde bir grup diske serpiştirilirken yeterli sayıdaki kontrol diskine Hamming kodu ile hesaplanmış Error Checking and Correction (ECC) bilgisi yazılır[3]. Bir hatanın tespit edilebilmesi ve düzeltilebilmesi için bu kontrol diskleri kullanılır. Hata tespiti ve düzeltilmesi için verinin tamamının kontrol diskleri üzerinde tekrar edilmesi gerekmez. Bir tane kontrol diskini bir tane hata tespiti için yeterlidir fakat bir hatayı düzeltebilmek için yeterli sayıda kontrol diskine ihtiyaç vardır[5]. 4lü bir grup disk için 3 kontrol diskine ihtiyaç vardır. 10lu grup için 4, 25li grup için 5, 32li grup için 7 (Şekil 8) kontrol diskine ihtiyaç vardır.

Günümüz modern diskleri kendi dahili ECC'lerini barındırdıkları ve başka birkaç sebepten dolayı RAID-2 sistemi gerçek hayata geçirilmemiştir. Bu seviye yerine daha üst seviye RAID sistemleri kullanılması önerilmektedir

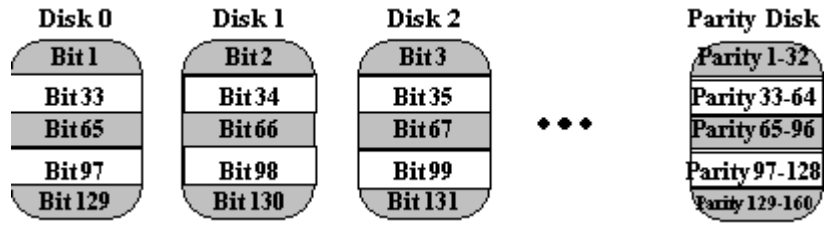


Şekil 8: RAID-2 (g:32 c:7)

2.4.5. RAID-3

Hafıza sisteminden farklı olarak disk sistemlerinde bir disk arızalandığında disk denetçisi anında bu arızadan haberdar olabilir. Bu yüzden kayıp veriyi kurtarmak için birden çok kontrol diskini yerine her bir grup disk için 1 tane kontrol diskini yeterlidir [10] (Şekil 9). Veriler yine bit mertebesinde diskler üzerine serpiştirilir. Yazma anında veri disklere dağıtılırken kontrol diskine XOR yöntemiyle denklik bilgisi yazılır. Okuma anında ise grup disklerinden paralel okuma yapılırken bu denklik verisi kontrol edilir. Her bir byte yazıldığında, eşsiz bir denklik kontrolü yapılarak verinin bütünlüğü sağlanır[5]. Disklerden biri arızalansa bile katara veri yazılmaya ve katardan veri okunmaya devam edilir. Kontrol diskini ve geriye kalan sağlam diskler üzerindeki veriler kullanılarak okuma anında veri kurtarma işlemi sayesinde asıl veri erişilebilir halde olur.

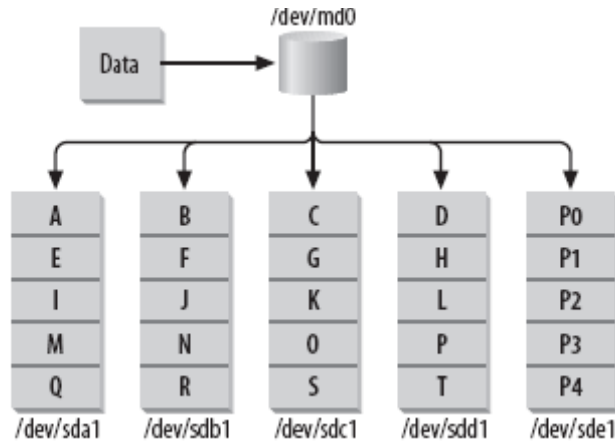
Bu durumda başarımlı kayıplı kaçınılmazdır çünkü veri kurtarma işlemi için ayrıca işlem yapılmak zorunda kalınır. RAID-3 seviyesinde gerçekleşmiş sistemler çok azdır. Genellikle daha yüksek seviye RAID sistemleri tercih edilmektedir.



Şekil 9: RAID-3

2.4.6. RAID-4

RAID-4 ile RAID-3 arasındaki temel fark RAID-4’de veri disklere sektör seviyesinde dağıtılır bit seviyesinde değil [1]. Bir grup disk için 1 tane kontrol diski kullanılır (Şekil 10). Her bir denklik bit’i o gruptaki veri bitlerinin basit bir şekilde XOR’lanmış halidir. RAID-3’den farklı olarak RAID-4’de denklik hesaplamaları çok daha basittir eğer eski veri değerini, eski denklik değerini ve yeni veri değerini biliyorsak. Yeni denklik verisi şu şekilde hesaplanabilir; *yeni denklik = (eski veri xor yeni veri) xor eski denklik*. Hata belirleme ve düzeltme işlemleri RAID-3’de yapıldığı gibidir. 1 tane diski kontrol diski olarak kullanmak demek veri yazılabilme potansiyeli olan 1 diskten feragat etmek demektir. N adet S kapasiteli disk kullanılarak oluşturulan RAID-4 sisteminde toplam kullanılabilir kapasite $(N-1)*S$ ’dir. 1’den fazla kontrol diski kullanılırsa bu değer $(N-P)*S$ ’e düşer. P burada kullanılan kontrol disklerinin sayısını temsil ediyor.



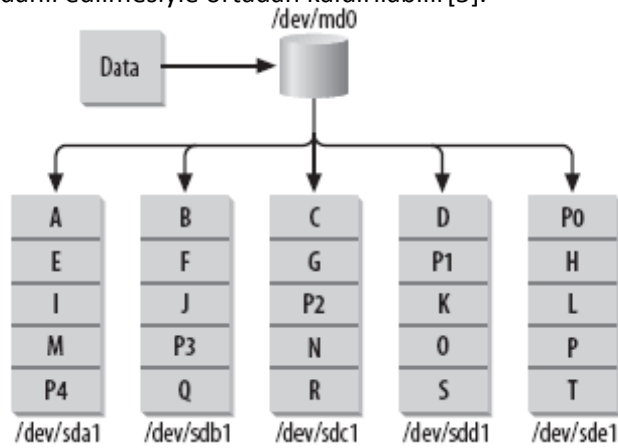
Şekil 10: RAID-4

RAID-4 yüksek başarımlı okuma ve iyi seviyede yazma başarımlı sağlar. Okumanın yazmaya oranla daha fazla olduğu sistemler için uygundur. Buda RAID-4’ü hareket işleme sistemleri için ideal kılar [5].

2.4.7. RAID-5

RAID-4 okuma ve yazmada paralellik sağlamış olsa da hala her bir grup için gruba her yazma işleminde kontrol diskinden okumalı ve bu diske yazmalıdır. Buda başarımlı olumsuz etkilemektedir. RAID-5 veriyi ve denliğini tüm disklere, kontrol diski dahil, dağıtır (Şekil 11). Bu küçük değişikliğin başarımlı üzerindeki etkisi büyüktür çünkü RAID-5 her bir gruba çoklu yazmayı

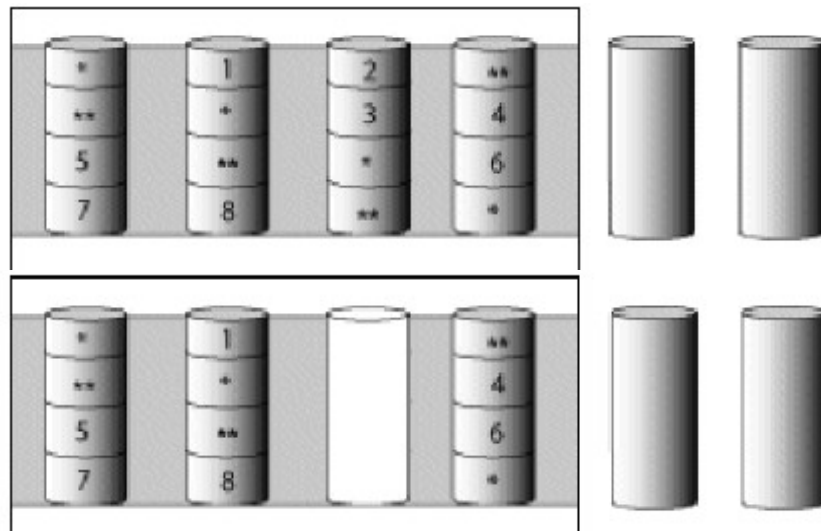
desteklemektedir[1]. Her bir yazma işleminde denklik verisi bir diske yazılır. Her diske bir parça denklik verisi yazılana kadar tüm diskler denklik verisi için sırayla kullanılır. Bu işlem tamamlanınca 1. diskten başlanarak denklik yazma işlemi tekrarlanır. N adet S kapasiteli disk kullanılarak oluşturulan RAID-5 sisteminde toplam kullanılabilir kapasite $(N-1)*S$ 'dir. RAID-4 de olduğu gibi 1 disk hatası başarıyla koterilabilir fakat disk değiştirilene kadar 2. bir disk hatası veri kaybına sebep olur. RAID-5 günümüzde en çok kullanılan RAID seviyelerinden bir tanesidir. Özellikle internet ve e-ticaret uygulamalarında tercih sebebidir çünkü RAID-5 iyi oranda hata dayanıklılığı sağlarken RAID-1 deki muazzam disk kapasitesi feda etmeyi gerektirmez ve ayrıca RAID-4 deki gibi kontrol diski dar boğazına kalmaz[2]. RAID-5 yazma işlemlerinde fazladan bir tur disk dönülmesi (eski veri ve eski denklik değeri okunur sonra yeni denklik hesaplanır daha sonra yeni veri ve yeni denklik disklerle dağıtılır) gerektirdiği için başarıyı düşer fakat bu sorun katara bir yazma ön belleği dahil edilmesiyle ortadan kaldırılabılır[5].

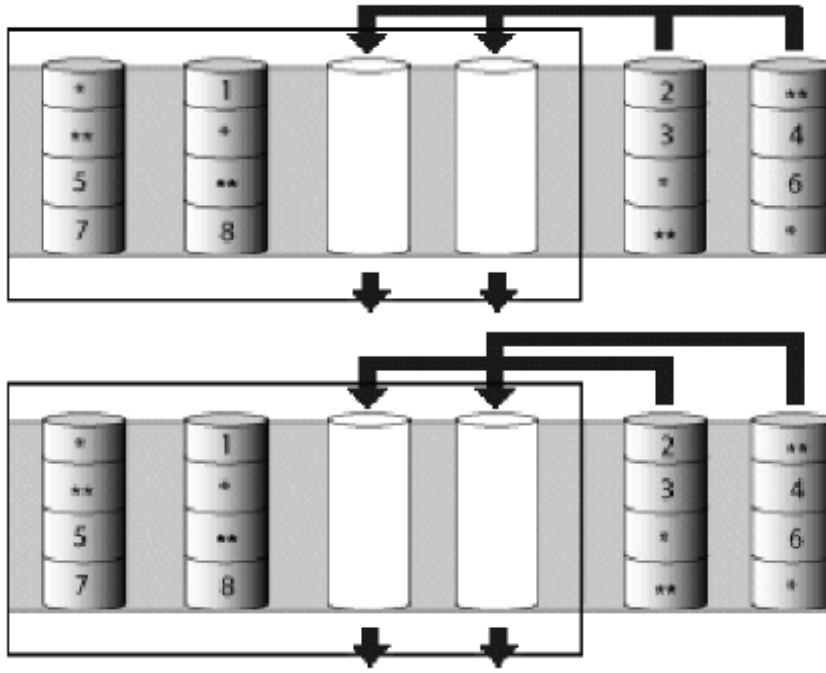


Şekil 11: RAID-5

2.4.8. RAID-6

RAID-6, RAID-5'e benzerdir fakat RAID-6'da 2 adet denklik bilgisi kullanılır. RAID-5 deki gibi veri bloklar halinde gruba dağıtılırken 1 denklik değeri de disklerle yazılır, RAID6'da ek olarak 2. denklik değeri de disklerle yazılır. 2. Denklik değerinin eklenmesindeki temel sebep hata dayanıklılığını artırmaktır. RAID-6, diğer seviyeler 1 tane disk hatasını karşılayabiliyorken, 2 tane disk hatasını karşılayabilir (Şekil 12). RAID-6 en az 4 adet diske ihtiyaç duyar ve en çok 16 disk kullanabilir [6].





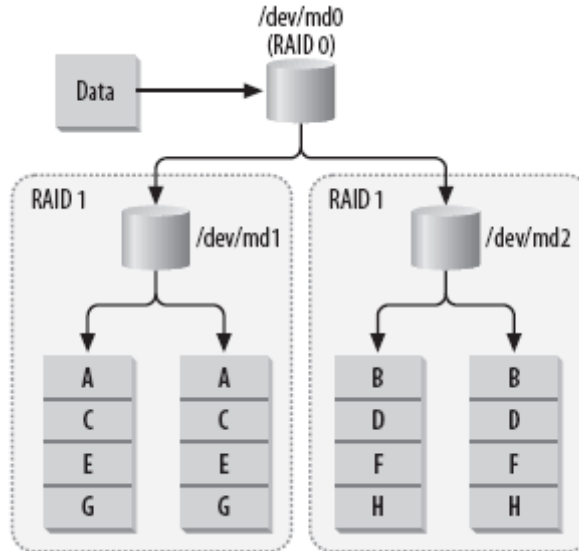
Şekil 12: RAID6: 2 “sıcak” diskli ve adım adım 2 disk hatası karşılama

2.4.9. Hibrit Katarlar

Berkley Bildirimi[1] yayımlandıktan sonra birçok üretici başarımı ve güvenilirliği artırmak adına farklı seviye RAID’leri birleştirdi. Bu hibrit RAID’lerin birçoğunu günümüz RAID denetçileri desteklemektedir.

2.4.9.1. RAID-10

RAID-0 ile RAID-1 in birleştirilmesinden oluşan en çok kullanılan hibrit türüdür. Şeritlere ayırmadaki başarım artışı ile yansıtmadaki artıklık özelliği birleştirilerek pahalı fakat hızlı ve güvenilir bir sistem ortaya çıkarılır. RAID-10’un oluşturulması basittir. Her biri bir grup diskten oluşan 2 adet yansıtma yaratılır. Daha sonra bu 2 yansıtma bir şerit katarı oluşturacak şekilde birleştirilir (Şekil 13). RAID-10’a bir veri yazıldığında veri 2 şerit halinde disklere yazılır. Her bir şeride yazılan veri bu şeritteki yansıtma disklerine kopyalanır. 1 Disk hatasında sistem çalışmaya devam edebilir. Eğer 2. Disk hatası diğer kanalda oluşursa sistem yine sorunsuz çalışabilir.



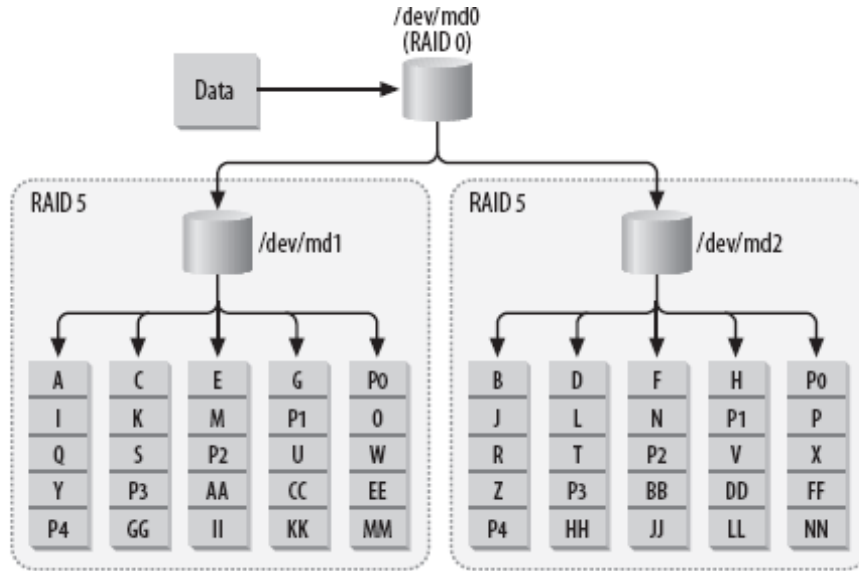
Şekil 13: RAID-10

2.4.9.2. RAID-0+1

RAID-10'daki gibi RAID-0 ve RAID-1'in güçlerini birleştirmek amaçlanmıştır. Bu sistemde 2 bölüm birbirinin yansımasıdır. Her bir bölümde ise veri şeritlere bölünmektedir. RAID-10'un bir bacağındaki yansımaların bir tanesinin diğer bacadaki yansımaların bir tanesiyle yer değiştirmiş hali olarak düşünülebilir. Aynı bacak üzerinde meydana gelebilecek 2 disk hatasını karşılayabilecek yapıdadır fakat farklı bacaklarda birer disk hatasında veri kaybı kaçınılmazdır. RAID-10 ile başarımların değerleri çok yakındır [8].

2.4.9.3. RAID-50

Fazla sayıda disk harcanmasından dolayı RAID-0+1'i kuramayan kullanıcılar 2 adet RAID-5 katmanı üzerinde veriye şeritlere ayırabilir (Şekil 14). Okuma başarımı RAID-0+1 den düşük olsa da yazma başarımı daha yüksektir çünkü her 2 taraf RAID-5'den oluşmaktadır. Yansımalarından her birinde meydana gelebilecek 1 disk hatası sisteme bir zarar veremez. RAID-5'lerde meydana gelebilecek 2 disk hatasında ise veri kaybı kaçınılmazdır.



Şekil 14: RAID-50

2.5. RAID Seviyeleri Karşılaştırmaları ve Öneriler

	Avantajları	Dezavantajları	Önerilen Uygulamalar
RAID-0	<ul style="list-style-type: none">- Yüksek G/Ç başarımı- Denklik kontrolleri yok- Basit tasarım- Kolay uygulanabilirlik	<ul style="list-style-type: none">- Hata dayanıklılığı olmadığı için gerçek bir RAID değil.- Disklerdeki herhangi bir bozukluk tüm veriyi kaybetmeye sebep olur.- Çok önemli uygulamalarda kullanılamaz.	<ul style="list-style-type: none">- Video üretimi ve işlenmesi.- Resim işlenmesi.- Yüksek bant genişliğine ihtiyaç duyan uygulamalar.
RAID-1	<ul style="list-style-type: none">- Veri okuma başarımı artışı- %100 artıklık	<ul style="list-style-type: none">- En yüksek disk yükü %50- Yazılım RAID'e uygun	<ul style="list-style-type: none">- Muhasebe- Finans- Yüksek

	- Basit tasarım	değil	kullanılabilirliğe ihtiyaç duyan uygulamalar
RAID-2	<ul style="list-style-type: none"> - Anında veri hata düzeltimi - Çok yüksek veri transfer hızı oranı - Basit denetçi tasarımı 	<ul style="list-style-type: none"> - Çok fazla sayıda kontrol diski gerekliliği - Hiç gerçekleştirilmemiş 	
RAID-3	<ul style="list-style-type: none"> - Yüksek seviye veri okuma - Yüksek seviye veri yazma - Disk hatalarının net hız üzerindeki önemsiz etkisi - Az sayıda kontrol diski=verimlilik 	<ul style="list-style-type: none"> - Bir anda 1 G/Ç isteğini gerçekleştirme - Denetçi tasarımı çok güç - Yazılım RAID uyumsuzluğu 	<ul style="list-style-type: none"> - Video üretimi ve canlı yayın - Resim ve video işleme - Yüksek bant genişliğine ihtiyaç duyan uygulamalar.
RAID-4	<ul style="list-style-type: none"> - Yüksek seviye veri okuma - Az sayıda kontrol diski=verimlilik 	<ul style="list-style-type: none"> - Denetçi tasarımı çok güç - Çok kötü yazma performansı - Disk hatalarında verimsiz ve zor geri kazanım 	
RAID-5	<ul style="list-style-type: none"> - En yüksek seviye veri okuma - Orta seviye veri yazma - Az sayıda kontrol diski=verimlilik - İyi seviye toplu transfer oranı 	<ul style="list-style-type: none"> - Disk hatasının net hız üzerindeki etkisi orta seviye - En karmaşık denetçi tasarımı - Disk hatalarında zor geri kazanım 	<ul style="list-style-type: none"> - Dosya ve uygulama sunucuları - Veritabanı sunucuları - Web, e-posta, haber sunucuları - En çok yönlü RAID seviyesi
RAID-6	<ul style="list-style-type: none"> - Çok önemli uygulamalar için mükemmel seçim - Çok yüksek seviye hata dayanıklılığı, çoklu eşanlı disk hatası dayanıklılığı 	<ul style="list-style-type: none"> - Karmaşık denetçi tasarımı - Denetçi üzerindeki denklik adreslerini hesaplamadaki ek yük fazlalığı - Çift denklik yapısı için N+2 diske ihtiyaç duyar 	<ul style="list-style-type: none"> - Dosya ve uygulama sunucuları - Veritabanı sunucuları - Web, e-posta, sunucuları - Intranet sunucuları - En az iş yükü ile mükemmel hata dayanıklılığı
RAID-10	<ul style="list-style-type: none"> - Yüksek G/Ç başarımı - Bazı durumlarda 	<ul style="list-style-type: none"> - Çok pahalı / yüksek ek yük - Tüm diskler başarım 	<ul style="list-style-type: none"> - Veritabanı sunucusu

	<p>eşanlı çoklu disk hatalarını kotarabilme</p> <ul style="list-style-type: none"> - RAID-1 kullanan fakat birazda başarımlı isteyenler için biçilmiş kaftan 	<p>için paralel hareket etmeli</p> <ul style="list-style-type: none"> - Yüksek maliyet, düşük ölçeklenebilirlik 	
RAID-0+1	<ul style="list-style-type: none"> - Yüksek G/Ç başarımlı - Yüksek başarımlı ihtiyaç duyan fakat azami güvenilirliğe ihtiyaç duyulmayan sistemler için birebir 	<ul style="list-style-type: none"> - Bir disk hatası sistemi RAID-0'a dönüştürür. - Çok pahalı / yüksek ek yük - Tüm diskler başarımlı için paralel hareket etmeli - Yüksek maliyet, düşük ölçeklenebilirlik 	<ul style="list-style-type: none"> - Resim uygulamaları - Genel dosya sunucuları
RAID-50	<ul style="list-style-type: none"> - RAID-5'e göre hataya daha dayanıklı fakat iki kat denklik ek yükü - Yüksek seviye veri transfer hızı RAID5 gücü - Yüksek G/Ç başarımlı küçük isteklerde şeritleme gücü - RAID-5 kullanan fakat birazda başarımlı isteyenler için biçilmiş kaftan 	<ul style="list-style-type: none"> - Uygulaması çok pahalı - Tüm diskler senkron halinde olmalı - RAID5 segmentlerinden birindeki çoklu disk hatası tüm katarı kullanılmaz hale getirir. 	

Tablo 2: RAID Seviyeleri Karşılaştırmaları ve Öneriler

2.6. RAID: Getirileri ve Götürüleri

2.6.1. RAID'in Getirileri

- **Yüksek Veri Güvenliği:** Veri artıklığını da saklamasından dolayı veri kayıplarını azaltır. Bir disk tamamen bozulsa dahi hatta daha fazlası, hiçbir veri kaybetmeden sistem çalışmaya devam eder. Bu özellik RAID'in tercih edilmesindeki en önemli nedendir.
- **Hata Dayanıklılığı:** RAID sistemleri artıklık denetimlerinden dolayı tek bir diskin kullanıldığı sistemlerden çok daha güvenilir olmaktadır. Buda demektir ki RAID sistemlerinin tamamının bir donanımsal hatadan mütevellit çökmesi daha düşük bir olasılıktır.
- **Yüksek Kullanılabilirlik:** Kullanılabilirlik veriye erişim demektir. İyi RAID sistemleri hataya karşı dayanıklılıklarıyla ve veri kurtarabilme özellikleriyle kullanılabilirliği artırır.

- **Artırılmış, Tümlleşik Kapasite:** RAID sistemlerinde küçük diskler bir katar halinde gruplanarak büyük boyutlu disklerin yerine kullanılabilirler. Mevcut zamanda tek bir büyük diskin ulaşamayacağı depolama alanı kapasitesine RAID sistemi sayesinde kolaylıkla ulaşılabilir.
- **Yükseltmiş Başarım:** RAID denetçisi, tek bir diskin başarımını kısıtlayan mekanik sorunlardan, çoklu disklerin kapasitelerinden faydalanarak kaçınır [12].

2.6.2. RAID'in Götürüleri

- **Planlama ve Tasarım:** Doğru ve etkin bir RAID sistemi kurabilmek için bir miktar kaynak ayrılarak çalışmalar yapılmalıdır. Hangi tür seviyenin seçileceği, katar boyutunun ne olacağı, hangi donanımın seçileceği gibi kararların verilmesi gerekmektedir.
- **Donanım:** Hangi tip donanım RAID'in kullanılacağıyla ilişkili donanım maliyeti: istenen başarıma göre seçilecek tip değişiklik gösterebilir ve maliyeti çok fazla olabilir.
- **Yazılım:** Yazılım RAID'i kullanılacaksa ona uygun bir işletim sistemi seçilmelidir. İşletim sisteminin haricinde 3. Parti yazılım RAID'leride tercih edilebilir. Tabi bunların hepsi maliyet demektir.
- **Kurulum ve Eğitim:** Büyük ölçekli RAID sistemlerinin kurulumu ve ayarlanması çok zaman alıcı olabilir. Bu sistemler için bilgi işlem ekibinin eğitilmesi de gerekebilir.
- **Bakım:** Yüksek kullanılabilirlik ve başarım için kurulan kurumsal RAID sistemleri sürekli bir bakıma ihtiyaç duyarlar.

3. Sonuç ve Değerlendirme

Bilgisayar dünyasında genel başarımın artırılabilmesi için en az işlemci ve bellek seviyelerindeki artış kadar G/Ç sistemlerinde de başarım artırılmalıdır. Sabit disk sistemlerinde yüksek G/Ç başarımı için en başarılı yöntemlerden biride RAID teknolojisidir. Bu teknolojiyi iyi anlayıp uygulamak disk başarımını artırabilmenin en önemli yoludur. RAID seviyeleri iyi idrak edilmeli ve değerlendirilmelidir. Unutulmamalıdır ki her türlü soruna tek bir RAID seviyesi çözümü yoktur. Karşılaşılan isteklere ve sorunlara karşı en uygun RAID seviyesini seçmek başarımın istenilen seviyeye gelmesinde anahtar rol oynayacaktır. Bazı RAID çözümleri yüksek maliyetli olabilmektedir. Yüksek maliyetli bir RAID çözümü uygulamadan önce hedef sistem çok iyi analiz edilmelidir. Eğer isteklere daha uygun az maliyetli bir RAID seviyesi varsa o seviyeye şans verilmelidir.

RAID seviyeleri arasında en çok kullanılan ve en genel çözüme sahip olan seviye RAID-5 seviyesidir. Çok fazla araştırma yapmadan ve uğraşmadan genel bir RAID çözümü tercih edilecekse en iyi aday RAID-5'dir.

Mevcut RAID seviyeleri istekleri karşılamazsa bu seviyeler birleştirilerek istenilen sisteme daha uygun bir seviye yaratılabilir fakat bu işlem yapılırken hataya dayanıklılığa, başarıma ve sistem maliyetine çok dikkat edilmelidir.

Günümüz, yüksek seviye erişebilirlik, güvenilirlik ve hataya karşı dayanıklılığın olmazsa olmaz olduğu internet dünyasında bu denli yüksek seviye ihtiyaçları karşılayabilecek bir alt yapı tasarlarken RAID kullanmak kaçınılmazdır. Kaçınılması gereken asıl husus ihtiyaçlara karşı yanlış seviye RAID seçilmesidir.

4. Referanslar

1. David A. Patterson, Garth Gibson, Randy H. Katz, 1988. A Case for Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID). ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pp. 109-116, June 1988.
2. Derek Vadala, 2002. Managing RAID on LINUX, O'REILLY, December 2002.
3. Bernhard Kuhn, 2000. Redundant Array of Inexpensive Disks REDUNDANCY IS GOOD!. LINUX MAGAZINE, 10/2000.
4. IBM SystemsServerRAID Manager Installation and User's Guide Ver. 8.30, June 2006
5. David Stott , 1998. Understanding RAID, PC Network Advisor Issue 95 (May 1998) Page 17-20
6. Brian Podrow, 2001. Understanding IBM eserver iSeries 400 and AS/400 Disk (DASD), February 2001
7. Stephen J. Bigelow, 2005. The new breed of RAID controllers, SearchStorage.com,02 Dec 2005
8. Mark Kyrnin, What is RAID?. PC Hardware / Reviews ,about.com
9. <http://en.wikipedia.org/wiki/RAID>
10. The RAID Tutorial, <http://www.ecs.umass.edu/ece/koren/architecture/Raid/raidhome.html>
11. G. M. Amdahl, "Validity of the single processor approach to achieving large scale computing capabilities," Proceedings AFIPS 1967 Spring Joint Computer Conference Vol. 30 (Atlantic City, New Jersey April 1967), pp. 483-485.
12. Redundant Arrays of Inexpensive Disks (RAID), <http://www.pcguides.com/ref/hdd/perf/raid/>