



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**VERİ KURTARMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE VERİ
KURTARMA İÇİN YARDIMCI DONANIMLARIN GELİŞTİRİLMESİ**

Abdulkadir ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ağustos-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır.**

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdulkadir ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “Veri kurtarma yöntemlerinin incelenmesi ve veri kurtarma için yardımcı donanımların geliştirilmesi” adlı tez çalışması 03/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Sabri KOÇER

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Şaban GÜLCÜ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Oktay ALTUN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../09/2022 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
FBE Müdürü

Bu tez çalışması BAP tarafından 211319007 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Abdulkadir ÖZDEMİR
03/08/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

VERİ KURTARMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE VERİ KURTARMA İÇİN YARDIMCI DONANIMLARIN GELİŞTİRİLMESİ

Abdulkadir ÖZDEMİR

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şaban GÜLCÜ

2022, 160 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Şaban GÜLCÜ
Prof. Dr. Sabri KOÇER
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin Oktay ALTUN

Her canlının yaşam döngüsü; doğma, yaşama ve ölme şeklinde ilerlemektedir. Aynı durum veri depolama ortamları için de geçerlidir; üretilir, kullanılır ve ömrünü doldurur. Ömrünü doldurma durumu dış etkenlerden kaynaklanabileceği gibi üretildiği materyalin niteliğinden de kaynaklanabilir. Elektronik verilerin depolandığı aygıtlar taşınması ve kullanması basit olması amacıyla tasarlanmasına rağmen kısıtlı bir kullanım ömrüne ve karmaşık içyapılara sahiptirler.

Gelişen teknolojiyle birlikte toplumun her kesiminin dijitalleşmesi ve iş modellerinin değişmesiyle birlikte düzenli veya düzensiz büyük miktarda dijital veri üretilmektedir. Dijital verinin güvenliği kişi, kurumlar ve kuruluşlar için büyük önem arz etmektedir. Verilerin korunması adına alınan birçok önlem alınmasına rağmen yine de istenmeyen durumlarla karşılaşmakta ve veri kayıpları meydana gelmektedir. Veriler depolama birimlerinde saklandığından dolayı, yazılımsal donanımsal veya yarı donanımsal arızalanma risklerini de beraberinde getirmektedir. Yeni nesil depolama birimleri, bu riskleri azaltmak için veri korunmasına yönelik çeşitli teknolojik önlemlerle üretilmektedir. Bu önlemlere rağmen veri kayıpları yine de meydana gelmektedir. Veri kurtarma teknolojileri; kayıp verilere ulaşmak, bu verilere bağlı olarak meydana gelen maddi veya manevi sorunların çözümünde önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmada, verilerin saklandığı dijital ortamlar ve bu ortamlarda veri kaybına sebep olan donanımsal, yarı donanımsal ve yazılımsal sorunlar detaylı olarak açıklanmıştır. Silinen, hasar gören, şifrelenen veya erişilemeyen durumdaki verilerin nasıl kurtarılacağına dair bilgi ve yöntemler uygulamalı olarak incelenmiş ve çeşitli çözüm yolları sunulmuştur. Son olarak veri kurtarma faaliyetlerinde kullanım kolaylığı sağlamak, işlemler esnasında zaman ve döviz kaybını önlemek üzere çeşitli yardımcı donanımlar geliştirilmiş ve test edilmiştir. Tez süresi boyunca birçok farklı veri depolama biriminden veri kurtarma çalışması yapılmıştır. Veri kaybına uğramamak için yapılması gereken işlemler ve veri kaybı durumlarında izlenilmesi gerek adımlar da detaylıca açıklanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde elde edilen ve geliştirilen yardımcı donanımların veri kurtarma alanına katkısı hakkında bilgiler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Flash bellek, Hafıza kartı, Hard disk, Optik disk, SSD, Veri kurtarma

ABSTRACT

MS THESIS

**INVESTIGATION OF DATA RECOVERY METHODS AND DEVELOPMENT
OF AUXILIARY EQUIPMENT FOR DATA RECOVERY**

Abdulkadir ÖZDEMİR

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN COMPUTER ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Şaban GÜLCÜ

2022, 160 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Şaban GÜLCÜ

Prof. Dr. Sabri KOÇER

Asst. Prof. Dr. Hüseyin Oktay ALTUN

The life cycle of every living thing proceeds in the form of being born, living and dying. The same applies to data storage media; they are produced, used and last a lifetime. The condition of filling its life can be caused by external factors, as well as by the nature of the material from which it is produced. Although the devices in which electronic data is stored are designed to be simple to transport and use, they have a limited-service life and complex internal structures.

With the digitalization of all segments of society with the developing technology and the change of business models, a large amount of digital data is produced regularly or irregularly. The security of digital data is of great importance for people, institutions and organizations. Despite the many measures taken to protect the data, however, undesirable situations are encountered and data losses occur. Since the data is stored in storage units, it also brings with it the risks of software hardware or semi-hardware failure. New generation storage units are produced with various technological measures for data protection to reduce these risks. Despite these measures, data losses still occur. Data recovery technologies; accessing lost data plays an important role in solving material or moral problems that occur due to this data.

In this study, the digital environments where data is stored and the hardware, semi-hardware and software problems that cause data loss in these environments are explained in detail. Information and methods on how to recover deleted, damaged, encrypted or inaccessible data have been studied in practice and various solutions have been presented. Finally, various auxiliary equipment has been developed and tested to provide ease of use in data recovery activities and to prevent loss of time and currency during transactions. During the thesis period, data recovery work was carried out from many different data storage units. The actions to be taken to avoid data loss and the steps to be followed in case of data loss are also explained in detail. Information about the contribution of the auxiliary equipment obtained and developed as a result of these studies to the data recovery field is given.

Keywords: Data recovery, Flash memory, Memory card, Hard disk, Optical disk, SSD

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca değerli tecrübelerini ve desteğini esirgemeyen, duraksadığım noktalarda beni destekleyerek ilerlememi sağlayan değerli hocam ve tez danışmanım Dr. Şaban GÜLCÜ'ye,

Kıymetli vakitlerini benden esirgemeyen, eğitim sürecimde pratik ve teorik olarak katkıda bulunan, değerli hocalarım Dr. Hakkı SOY'a, Dr. Hüseyin Oktay ALTUN, Prof. Dr. Mehmet KARALI'ya ve Prof. Dr. Sabri KOÇER'e,

Teknik çalışmalarım esnasında fikir alışverişinde bulunduğum; Verbatim firmasından Erol Özdemir'e, Soft-Center firmasından Nikolko Sergey'e, ACELab firmasından Roman Morozov'a, ve Rusolut firmasından Sasha Sheremetov'a,

Dijital veri kurtarma işlemlerine başlamama vesile olan ve kıymetli tecrübelerine bana aktaran Recep BAYER'e,

Tez çalışmam sırasında içeriğin daha iyi aktarılabilmesi için kontrollerini gerçekleştiren Kübranur GÜMÜŞLÜ'ye, çalışmalarım sırasında üretilen yardımcı donanımların testlerini gerçekleştiren ve alternatif fikirleriyle birlikte kendi tecrübelerini aktaran Gökhan ÖZKAN'a, Lütfi GÜLSÜN'e ve Şükrü İNAN'a,

Baskı devre kartlarının çizimi gerçekleştiren Osman AKKAYA'ya, geliştirilen mekanik yardımcı donanımların CNC aracılığıyla üretimini gerçekleştiren Fixtork firmasının sahibi Abdullah ERİŞKİN'e,

Tezin gerçekleştirebilmesi için arızalı hafıza kartı, USB flash bellek ve hard disk temin etmemde büyük yardımları olan Yavuz ÖZEN ve Yunus DERVİŞ'e; yardımcı donanımların geliştirilmesinde kullanılacak materyallerin temin edilmesinde yardımlarını esirgemeyen Kemal ATEŞ'e, ayrıca beraber çalışmaktan çok keyif aldığım Konya Siber Suçlarla Mücadele Şube Müdürlüğündeki mesai arkadaşlarıma,

Dijital veri kayıt ortamlarının X-ray imaj görüntülerinin fotoğraflanabilmesi için yol ve yöntem sunan Dt. Serkan BAHRİLLİ'ye,

Veri kurtarma işlemlerinde kendi tecrübe ve fikirlerini sunan Doğan GÖKDEMİR'e, Hulusi TOKER'e, Okan ZERK'e, Ömer ULU'ya ve Tayfun ŞENOĞLU'na,

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, dürüst bir insan olmanın başarılı bir insan olmaktan daha mühim olduğunu öğreten değerli babam Ömer ÖZDEMİR ve annem Huriye ÖZDEMİR'e, yaptığı işi en iyi şekilde yapmanın önemini belirten, her zaman yanımda olan ve tezin doğru ifadelerle aktarılması için katkılarda bulunan kıymetli kardeşlerim Hüseyin, Betül ve Zeynep'e ve onların değerli eşlerine, tez çalışmamın bitmesini sabırla bekleyen kıymetli eşim Esra'ya ve tez çalışmamdan dolayı ihmal etmek zorunda kaldığım 1.5 yaşındaki biricik evladım Ömer Fatih'e tüm içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

İnsanımıza faydalı olması temennisiyle...

Abdulkadir ÖZDEMİR
KONYA - 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	i
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Literatüre Katkıları	3
1.2. Tezin Organizasyonu	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
3.1. Veri Depolama Birimleri	10
3.1.1. Optik diskler	12
3.1.2. Sabit diskler	17
3.1.3. Yarı iletken depolama birimleri	22
3.2. Veri Kaybına Neden Olan Sebepler ve Veri Kurtarma Yöntemleri	57
3.2.1. Yazılımsal veri kayıpları ve çözümleri	60
3.2.2. Donanımsal veri kayıpları	70
3.2.2.1. Optik disklerde (medya) veri kayıpları ve çözümleri	70
3.2.2.2. Sabit disklerde veri kayıpları ve çözümleri	75
3.2.2.3. Flash bellek kullanan cihazlarda veri kayıpları ve çözümleri.....	90
3.2.3. Yarı donanımsal veri kayıpları ve çözümleri.....	109
4. GELİŞTİRİLEN CİHAZLAR, ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	115
4.1. Sata Dönüşüm Kartı.....	118
4.2. Assembler Olarak Virtual Translator Kullanmamak	124
4.3. Ters Hafıza Kartı Okuyucusu	128
4.4. Hızlı Hafıza Kartı Okuma Adaptörü.....	130
4.5. Genel Bellek Lehimleme Kartı	138
4.6. Veri Kurtarma Sırasında İzlenecek İşlem Adımları	143
4.7. Veri Kaybına Uğramamak İçin Alınacak Önlemler	146
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	147
5.1. Sonuçlar	147
5.2. Öneriler	151

6. KAYNAKLAR	153
ÖZGEÇMİŞ	160



SİMGELER VE KISALTMALAR

APFS	: Apple File System (Apple Dosya Sistemi)
CD	: Compact Disk (Yoğun Disk)
DAS	: Direct Attached Storage (Doğrudan Bağlı Depolama Alanı)
DPS	: Disc Protection System (Disk Koruma Sistemi)
DVD	: Digital Versatile Disk (Dijital Çok Yönlü Disk)
EXT	: Extended File System (Genişletilmiş Dosya Sistemi)
FAT	: File Allocation Table (Dosya Yerleşim Tablosu)
FE	: Flash Extractor
FDRE	: Flash Disk Data Recovery Equipment (Flash Disk Veri Kurtarma Ekipmanı)
FGMOS	: Floating-gate Mosfet (Yüzen Geçit Mofset)
Firmware	: Donanım yazılımı/ Bellek
HDA	: Hard Disk Assembly (Hard Disk Bileşenleri)
HFS/HFS+	: Hierarchical File System (Hiyerarşik Dosya Sistemi)
ICs	: Integrated circuits (Entegre devre/ gömülü devre)
MFT	: Master File Table (Ana Dosya Tablosu)
NAND	: Not-And (Ve Değil)
NAS	: Network Attached Storage (Ağ Üzerinden Bağlı Depolama)
NTFS	: New Technology File System (Yeni Teknoloji Dosya Sistemi)
MOFSET	: Metal oksit yarı iletken alan etkili transistör (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)
Monolithic	: Yekpare/ Tek parça
ONFI	: Open Nand Flash Interface (Açık Nand Flash Arabirimi)
PCB	: Printed Circuit Board (Baskı Devre Kartı)
PDA	: (Personal Data Assistant - Cep bilgisayarı/ Kişisel Veri Yardımcısı)
RAID	: Redundant Array of Independent Disks (Bağımsız Disklerin Artıklıklı Dizisi)
RAM	: Random Access Memory (Rasgele Erişimli Bellek)
S.M.A.R.T	: Self Monitoring Analysis Reporting Technology (Kendini İzleyip Analiz Ederek Raporlama Teknolojisi)
SAN	: Storage Area Network (Depolama Alanı Ağı)
SD	: Secure Digital (Güvenli Dijital)
SSD	: Solid State Disk (Katı Hal Disk)
SMD	: Surface Mount Device (Yüzeye Monte Edilebilen Devre Elemanı)
SMT	: Surface Mount Technology (Yüzeye Monteleme Teknolojisi)
TTN	: Teknolojik Test/ Temas Noktası (Pinout)
UFS1/UFS2	: Unix File System (Unix Dosya Sistemi)
UFD	: USB Flash Drive
XIP	: Execute in Place (Yerinden Yürütme)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Veri depolama birimleri ve sınıflandırılmaları.....	11
Şekil 3.2. Optik disk katmanları	12
Şekil 3.3. Optik sürücü çalışma prensibi (Breeuwsma ve ark., 2007).....	12
Şekil 3.4. CD/DVD/Blu-ray disk veri alanı, mesafeleri ve lazer noktası ölçütleri (Hwu ve Boisen, 2018)	12
Şekil 3.5. Optik disk okuma/ yazma işlemi (González Weichselbaum, 2018)	13
Şekil 3.6. Yazılma durumuna göre CD Sınıflandırılması (Mustroph ve ark., 2006).....	13
Şekil 3.7. Yazılma durumuna göre DVD Sınıflandırılması (Mustroph ve ark., 2006) ..	14
Şekil 3.8. DVD türlerinin katmanlarının yapısı (Mustroph ve ark., 2006).....	14
Şekil 3.9. Çift katmanlı Blu-ray'in yapısı (Patel, 2013).....	15
Şekil 3.10 Blu-ray'in katman çeşitleri ve kapasiteleri (González Weichselbaum, 2018)	15
Şekil 3.11. AD disk kayıt katmanları (Panasonic Corporation, 2017)	16
Şekil 3.12. AD veri kayıt alanları ve mesafeleri (Sony Corporation ve Panasonic Corporation, 2020).....	17
Şekil 3.13. AD Sürücüsü (Sony Corporation, 2020)	17
Şekil 3.14. AD kartuşu (Sony Corporation, 2020)	17
Şekil 3.15. AD kartuşu içi (González Weichselbaum, 2018).....	17
Şekil 3.16. Optik disklerin yıllara göre gelişim süreci (Panasonic Corporation, 2019). 17	
Şekil 3.17. Sabit diskin bileşenleri (Handwerker ve ark., 2017)	18
Şekil 3.18. Hard disk baskı devre kartının bileşenleri	18
Şekil 3.19. Hard disk çalışma prensibi (Breeuwsma ve ark., 2007).....	18
Şekil 3.20. Sabit disk okuma kafasının plakalara olan mesafesi (Korb, 2006)	19
Şekil 3.21. PBA'dan LBA'ya erişim süreci (ACELab Europe s.r.o., 2020)	21
Şekil 3.22. Çoklu okuma/yazma kafaları üreticisi/çalıştırıcısı (Feist, 2019)	22
Şekil 3.23. Ram türleri.....	23
Şekil 3.24. Rom türleri	24
Şekil 3.25. Bellek türlerinin teknolojiye göre dağılımları (Yole Développement, 2021)	26
Şekil 3.26. Ram belleklerin senelere göre kullanım durumları (Grand View Research, 2022)	26
Şekil 3.27. Nor bellek kullanan cep telefonu.....	27
Şekil 3.28. Nor bellek kullanan iki farklı cep telefonun fiziksel kopyaları.....	27
Şekil 3.29. NOR ve NAND mimarisinin karşılaştırılması (M-Systems Inc, 2003)	28
Şekil 3.30. Yüzer kapı bellek hücresi (a) ve şematik sembolü (b) (Michelson ve ark., 2010).....	28
Şekil 3.31. Flash belleklerde veri okuma ve yazma	29
Şekil 3.32. Hafıza birimi olarak flash bellek kullanan cihazlar (Rusolut Sp. z o.o., 2022)	29
Şekil 3.33. Kayan kapılı bir transistörden oluşan flash bellek hücresi (Fukami ve ark., 2017)	31
Şekil 3.34. NAND flash bellek mimarisi (Yan ve Yao, 2014).....	32
Şekil 3.35. NAND flash bellek mimarisi (Tran ve Park, 2020)	32
Şekil 3.36. Doğrusal olan ve olmayan sayfa dönüşümleri (Rusolut Sp. z o.o., 2014b) .	34
Şekil 3.37. Hatalı blok yönetimi (Rusolut Sp. z o.o., 2014b).....	35
Şekil 3.38. Nand Flash belleğe G/Ç durumu (Rusolut Sp. z o.o., 2022).....	37
Şekil 3.39. USB Flash Bellek ve X-ray altındaki görüntüsü	38
Şekil 3.40. Dörder adet veri çipine sahip USB flash bellek örnekleri (Dec, 2012).....	38

Şekil 3.41. USB flash bellek soketlerinin pin bağlantıları (Blizzard, 2018)	39
Şekil 3.42. Nand bellek çiplerinin paketlenme türleri	39
Şekil 3.43. Tsop-48 veri çipinin sinyal çıkışları (ONFI Workgroup, 2021)	40
Şekil 3.44. BGA-152 veri çipinin sinyal çıkışları (ONFI Workgroup, 2021)	40
Şekil 3.45. LGA-52 veri çipinin sinyal çıkışları (ONFI Workgroup, 2021)	41
Şekil 3.46. Şeffaf COB örneği (Imec International, 2020).....	41
Şekil 3.47. Hafıza birimi olarak hafıza kartı kullanılan USB flash bellekler	42
Şekil 3.48. Bellek türlerine göre USB flash bellekler ve x-ray altındaki görüntüleri	42
Şekil 3.49. Memory Stick hafıza kartı ve röntgen ışınları altındaki görüntüsü	43
Şekil 3.50. Örnek hafıza kartları.....	43
Şekil 3.51. Hafıza kartlarının kullanım alanları	44
Şekil 3.52. Hafıza kartının genel mimarisi (Michelson ve ark., 2010)	44
Şekil 3.53. Örnek CF kart ve girişi	45
Şekil 3.54. SD hafıza kartı sinyal çıkışları	47
Şekil 3.55. Hafıza birimlerine göre SD hafıza kartı türleri	47
Şekil 3.56. Hafıza kartı örnekleri ve röntgen ışınlarındaki görüntüleri.....	48
Şekil 3.57. microSD hafıza kartı sinyal çıkışları	48
Şekil 3.58. SSD'nin temel parçaları	50
Şekil 3.59. SSD'nin iç mimarisi (Hwang ve Park, 2015)	50
Şekil 3.60. SSD Arayüz Örnekleri.....	51
Şekil 3.61. M.2 arayüzüne sahip SSD örnekleri.....	51
Şekil 3.62. M.2 SSD pin numaralandırılması (pinouts.ru, 2022)	52
Şekil 3.63. Trim komutunun çalışma biçimi (Clements, 2010).....	55
Şekil 3.64. Trim komutunun çalışma şeklinin mizansen gösterimi (I_Condone_Pone, 2017)	55
Şekil 3.65. Gömülü cihazların çalışma prensibi (Breeuwsma ve ark., 2007).....	57
Şekil 3.66. Cep telefonlarında bellek sistem mimarileri (Michelson ve ark., 2010)	57
Şekil 3.67. Veri kayıplarının sebepleri (David, 2000).....	58
Şekil 3.68. Veri kayıplarının sebepleri (DeepSpar Data Recovery Systems, 2007).....	58
Şekil 3.69. Silme örneği için form tasarımı ve butona yazılan kod.....	61
Şekil 3.70. Uygulamada ilgili butona tıklanmış durumda	61
Şekil 3.71. Verilerin erişilememesine göre sınıflandırılmaları (Guo ve Slay, 2010)	63
Şekil 3.72. Dosya sistemi RAW olmuş cihaz örnekleri	63
Şekil 3.73. Sürücü harfi atanamayan cihaz örnekleri	64
Şekil 3.74. Şifreli cihaz örnekleri	65
Şekil 3.75. İşletim sistemi güncellemesi sırasında çöken cihaz örnekleri.....	65
Şekil 3.76. Partition tablosu bozulmuş bir disk	66
Şekil 3.77. Fragmente olan dosyaların tam olarak gelmemesi	67
Şekil 3.78. Bozuk dosya örnekleri.....	67
Şekil 3.79. Onarılmış video örneği	68
Şekil 3.80. Dosyalar üzerinde şifreleme yapılması	68
Şekil 3.81. Nas cihazının bozulması sonucu verilere erişilememesi.....	69
Şekil 3.82 Optik disk yüzeyinin kirli olması ve temizlenmiş hali.....	71
Şekil 3.83. Optik diskte çatlak olması	72
Şekil 3.84. Optik diskin kırık olması.....	72
Şekil 3.85. Optik medyada hafif çiziklerin olması	72
Şekil 3.86. Optik diskte derin çiziklerin olması	73
Şekil 3.87. Optik diske veri kaydı sırasında hata oluşması	73
Şekil 3.88. Optik diskin yansıtıcı yüzeyinin aşınması.....	73
Şekil 3.89. Optik lazerin optik diski yakması.....	74

Şekil 3.90. Fiziksel şekli bozulmuş optik disk örneği	74
Şekil 3.91. PCB markalara göre aranması gereken kriterler.....	76
Şekil 3.92. PCB'ler için uyumluluk kriterleri (Güllüce ve Benzer, 2015)	77
Şekil 3.93. Donör kriterleri işaretlenmiş örnek diskler (Donor Drives LLC, 2012)	78
Şekil 3.94. Dış park kafa değiştirme aparatı.....	78
Şekil 3.95. USB diskin Sata'ya çevrilirken lehimlenecek noktalar.....	79
Şekil 3.96. M.2 veya özel arayüzlere sahip SSD dönüşüm kartları (Acelab Europe s.r.o., 2022a)	80
Şekil 3.97. Motora veya okuma/ yazma kafalarına giden pad'lerin kirlenmesi	81
Şekil 3.98. Veri yolunun kırılması.....	81
Şekil 3.99. Parça kopması.....	81
Şekil 3.100. Sigorta direnci bozulmuş olan PCB	82
Şekil 3. 101. PCB'deki yol kopması örneği	82
Şekil 3. 102. PCB'nin veya hdd metal kasasının ezilmesi	83
Şekil 3.103. PCB'deki parça yanması	83
Şekil 3.104. Motora gelen pinin pade temas etmemesi	83
Şekil 3.105. Sabit disk USB soketinin tıkanması	84
Şekil 3.106. PCB eğilmesi sonucunda içerisinde iç yol kopukluğu	84
Şekil 3.107. Okuma/ yazma kafasının plattere kopması	84
Şekil 3.108 Okuma/ yazma kafalarının bozulması	85
Şekil 3.109 Okuma/ yazma kafalarının yapışması ve kafa ayırıcı.....	85
Şekil 3.110. Plakası çizilmiş ve kafası kırılmış hdd	86
Şekil 3.111. Motora gelen güç kablosunun kopması.....	86
Şekil 3.112. Okuma/ yazma kafalarının kirlenmesi (Tri-State Data Recovery & Forensics LLC, 2020; ACELab Europe s.r.o., 2021)	86
Şekil 3.113. Yanmış DVR cihazı içerisindeki Hdd	87
Şekil 3.114. USB soketi bozuk diske sata veri yolu yapılmış örneği.....	87
Şekil 3.115. PCB'de elektrik akımını engelleyecek materyallerin bulunması	88
Şekil 3.116. PCB'de elektrik akımını engelleyecek materyallerin bulunması (Acelab Europe s.r.o., 2018).....	88
Şekil 3.117. Diskin fiziksel olarak hazara uğraması(Recovery HDD, 2018).....	89
Şekil 3.118. Uzman olmayan kişilerin arızaya müdahalesi.....	89
Şekil 3.119. ISP bağlantısı yapılmış bir cihaz örneği	92
Şekil 3.120. Chip-off yapılmış bir cihaz ile 3 farklı veri çipi.....	92
Şekil 3.121. Denetleyici, Flash bellek ve TTN'ler arasındaki bağlantı (Gin, 2020).....	93
Şekil 3.122. Bantı çıkarılmış microSD ve kazınmış UFD.....	94
Şekil 3.123. Nand bağlantıları yapılmış cihaz örnekleri	95
Şekil 3.124. Cob türünde bir flash belleğin yapılmış Nand bağlantıları	95
Şekil 3.125. Tsop48 veri çipi bacaklarının kopması örneği	96
Şekil 3.126. USB veri yolu kopması	96
Şekil 3.127. USB PCB'nin kırılması	96
Şekil 3.128. USB soketin kırık olması	97
Şekil 3.129. USB soket pinlerinin temas etmemesi.....	97
Şekil 3.130. Sigorta direncinin bozuk olması	97
Şekil 3.131. Devre elemanının parçalanması/ kaybolması.....	98
Şekil 3.132. USB flash bellekte iç ve yüzey yol kopukluğu	98
Şekil 3.133. USB belleği soğuma ve ısıtma	98
Şekil 3.134. Hafıza kartının yollarının kopuk olması.....	99
Şekil 3.135. Hafıza kartı veri yollarının kopuk veya kırık olması	99
Şekil 3.136. Hafıza kartı üzerindeki devre elemanlarının bozulması.....	99

Şekil 3.137. SSD veri arayüzünün bozulması	100
Şekil 3.138. SSD'den parça kopması örneği	100
Şekil 3.139. M.2 SSD'lerin yanlış sokete takılması	100
Şekil 3.140. USB soketi çalışmayan SSD örneği (Total-Recovery, 2022)	101
Şekil 3.141. PCB üzerindeki devre elemanının arızalanması (ITHOPE s.r.o., 2022)..	101
Şekil 3.142. M.2 SSD'ye sıvı teması sonrası veri yollarının çalışmaması (ITHOPE s.r.o., 2021)	101
Şekil 3.143. Güç kablosunu ısırmış bir fare örneği	102
Şekil 3.144. Hafıza kartından veri alınması sırasında soğutulması	102
Şekil 3.145. Mobil cihazlardaki soket arızaları	102
Şekil 3.146. Mobil cihazlardaki devre elemanlarının arızalanması.....	103
Şekil 3.147. Mobil cihazların bataryalarının bozulması	103
Şekil 3.148. Mobil cihazların ekranlarının kırılması	103
Şekil 3.149. MP3 çalarların soketinin arızalanması	104
Şekil 3.150. Donanımsal arızası olan cihazların bilgisayardaki görünümü	104
Şekil 3.151. Denetleyicisi zarar görmüş USB flash bellek ve hafıza kartı.....	104
Şekil 3.152. Oksitlenmiş USB flash bellek	105
Şekil 3.153. Yanmış hafıza kartı (Rusolut Sp. z o.o., 2014a) ve PCB'si kırılmış hafıza kartları	105
Şekil 3.154. Kırık, çatlak ve ezik hafıza kartı örnekleri	105
Şekil 3.155. Kırık UFD ve Tsop48 çipi örnekleri	106
Şekil 3.156. Hafıza kartı yüzeyinin fazla kazınması	106
Şekil 3.157. SSD PCB'sindeki parçaların yanması (DataSector, 2022)	106
Şekil 3.158. Fiziksel arızası giderilemeyen mobil cihaza uygulanan ISP örneği.....	107
Şekil 3.159. Mobil cihaz PCB'sinin koruyucu kaplamasının kalmış olması	107
Şekil 3.160. Mobil cihaz PCB'sinin kırılması, çipin kırılması.....	108
Şekil 3.161. Yanmış cep telefonu.	108
Şekil 3.162. Terminal bağlantısı yapılmış Fujitsu ve Seagate marka diskler.....	110
Şekil 3.163. WD 3.5" diskin SED'li hali ve SED kaldırılmış hali	111
Şekil 3.164. WD 2.5" SED örneği	111
Şekil 3.165. WD diskin 47 numaralı modül arızası (ITHOPE s.r.o., 2019).....	112
Şekil 3.166. Seagate diskin BSY'de kalması	112
Şekil 3.167. Corsair SSD'nin sektör okumaması	112
Şekil 3.168. Hitachi diskin şifreli olduğunu gösteren örnek	113
Şekil 3.169. Samsun SSD'nin sektör okumaması	113
Şekil 3.170. Seagate marka diskin translator bozulma uyarısı	113
Şekil 3.171. SED bulunan WD diskin şifrenin kaldırılmadan önceki/sonraki sektör okuması.....	114
Şekil 4.1. Kriterleri uyuşmamasına rağmen donör olarak uyumlu olan diskler	117
Şekil 4.2. Kriterleri uyuşmamasına rağmen donör olarak uyumlu olan PCB'lerin iç ve dış yüzü	118
Şekil 4.2. G3448A numaralı PCB'nin Sata bağlantı noktaları	120
Şekil 4.3. Sata arayüzden erişim için geliştirdiğimiz kart	121
Şekil 4.4. Geliştirilen Sata arayüz kartının devre şeması	122
Şekil 4.5. Kullanılan telin kalınlığı ve en fazla olması gereken uzunluk	123
Şekil 4.6. Tam değişim yapılmış USB flash bellek	123
Şekil 4.7. USB 2.0 dönüştürülmüş flash bellek.....	124
Şekil 4.8. Assembler olarak Virtual Translator seçilmesi	125
Şekil 4.9. Assembler olarak Raw seçilmesi.....	125
Şekil 4.10. Assembler olarak Virtual Translator seçilmesi	126

Şekil 4.11. Assembler olarak Raw seçilmesi.....	127
Şekil 4.12. Hafıza kartı iç yol kopukluğunun röntgen altında görünümü (Rusolut Sp. z o.o., 2022)	128
Şekil 4.13 Hafıza kartı kırıklığının röntgen altında görünümü (ATSB, 2017).....	128
Şekil 4.14. Lehim maskesi uygulanmış hafıza kartı	128
Şekil 4.15. Ters takılmış hafıza kartını okuyabilen kart okuyucusu	129
Şekil 4.16. Ters takılan kartı okumaya yarayan okuyucu ve aparatlar	130
Şekil 4.17. MicroSD hafıza kartlarında yol kopukluğu.....	130
Şekil 4.18. Farklı markaların aynı TTN'leri.....	131
Şekil 4.19. Farklı markaların farklı TTN'leri	131
Şekil 4.20. Aynı markaya ait farklı TTN'ler	132
Şekil 4.21. Aynı markaya ait farklı ve aynı TTN'ler.....	133
Şekil 4.22. Farklı markalara ait aynı TTN'ler	133
Şekil 4.23. Açık kaynaklar üzerinde ücretsiz olarak yayınlamış TTN'ler(data_repair, 2017; SGdata, 2021)	134
Şekil 4.24. ACELab Europe s.r.o.'nun bizimle ile paylaştığı TTN'ler	134
Şekil 4.25. Rusolut Sp. z o.o.'nun bizimle ile paylaştığı TTN'ler	135
Şekil 4.26. Geliştirme sırasındaki test aşamaları	135
Şekil 4.27. Geliştirilen adaptörün ilk çizimleri.....	136
Şekil 4. 28. Geliştirilen adaptörün nihai çizimi	136
Şekil 4.29. Geliştirilen adaptöre ait teknik ölçüler	136
Şekil 4.30. Tüm bağlantıları yapılmış adaptörün tamamlanmış hali	137
Şekil 4.31. Hafıza kartları ve USB bellekler için geliştirilen lehimleme kartı	138
Şekil 4.32. Geliştirilen lehimleme kartının devre şeması	139
Şekil 4.33. Nand Belleğin lehimlenmesi sırasındaki tutucular.....	139
Şekil 4.34. Üretilen kartla lehimlemesi yapılmış bir microSD.....	140
Şekil 4. 35. Nand bellek yüzeyinin kazınması sırasındaki tutucular	140
Şekil 4. 36. Flash Extractor yazılımı için geliştirilen model	141
Şekil 4.37. Hard disklerde veri kurtarma adımları	143
Şekil 4.38. Mobil cihazlardan veri kurtarma adımları.....	144
Şekil 4.39. Flash bellek kullanan cihazlardan veri kurtarma adımları	145

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. DVD türlerinin kullanılan tarafı, katmanı ve kapasitesi.....	14
Çizelge 3.2. Veri transfer standartları ve azami veri transfer hızları.....	20
Çizelge 3.3 NOR ve NAND belleklerin birbirlerinden farkları (Micheloni ve ark., 2010)	28
Çizelge 3.4. Flash belleğin sabit disklere göre avantajları dezavantajları.....	29
Çizelge 3.5. Flash bellek hücre türleri (Kingston Technology Company, 2021).....	32
Çizelge 3.6. Flash belleğin aşınma dengelemesi varken ve yokken ki ömrü (Ayar, 2010)	36
Çizelge 3.7. Nand şemalarındaki sinyaller ve açıklamaları (ONFI Workgroup, 2021) .	36
Çizelge 3.8. CF kart sinyal çıkışları (pinout).....	45
Çizelge 3.9. Kartların kapasitelerine göre simgeleri	48
Çizelge 3.10. Uygulama performanslarına göre simgeleri	49
Çizelge 3.11. Kartların hız sınıflarına göre simgeleri	49
Çizelge 3.12. Kartların veri yollarına göre simgeleri	49
Çizelge 3.13. mSata sinyal çıkışları.....	52
Çizelge 3.14. Micro Sata sinyal çıkışları	53
Çizelge 3.15. M.2 – B-KEY sinyal çıkışları.....	53
Çizelge 3.16. M.2 – M-KEY sinyal çıkışları	53
Çizelge 3.17. Trim'i aktifleştirmek/ pasifleştirmek için gerekli komutlar	55
Çizelge 3.18. Dosyaların üst ve alt bilgileri (Exterro Inc., 2021; Kessler, 2022)	59
Çizelge 3.19. USB ve SATA PCB uyumluluk listesi (ACELab Europe s.r.o., 2014; Jared, 2016a; 2016b).....	80
Çizelge 3.20. Jtag, ISP, UFS lehimlenecek pin isimleri.....	91
Çizelge 3.21. Nand üreticilerine ait olan ID'ler	95
Çizelge 3.22 Donanım yazılım arızalarını için kullanılabilecek siteler.....	114
Çizelge 4.1. Optik disk veri kurtarma araştırma sonuçları	115
Çizelge 4.2. Gerçekleştirilen veri kurtarma işlemlerinde karşılaşılan arıza türleri	116
Çizelge 4.3. Tüm arıza türlerindeki genel veri kurtarma durumu	116
Çizelge 4.4. Sadece donanımsal kaynaklı arızalardaki veri kurtarma durumu	116
Çizelge 4.5. Markalara göre karşılaşılan donanımsal arıza türleri	116
Çizelge 4.6. Sadece PCB arızalarında veri kurtarma durumu	116
Çizelge 4.7. Kafa arızalarında veri kurtarma durumu	116
Çizelge 4.8. Araştırmada kullanılan USB arayüzüne sahip sabit disklerin bilgileri	119
Çizelge 4.9. TTN türleri ile karşılaşılan sayıları	133
Çizelge 4.10. Flash Extractor yazılımı için geliştirilen modeller	142

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinde ilk çağlardan yakın geçmişe kadar gücün kaynağı; fiziki güç, toprak büyüklüğü veya sayısal değer üzerinden değerlendirilmekteydi. Günümüz koşullarında ise güç; bilgi ile eşdeğer hale gelmiştir. “Süper güç” olarak tabir edilen dünya devletlerine bakıldığında bu isimle anılmalarındaki sebeplerden birinin de bilgiye dayalı teknolojilere sahip olmalarından kaynaklı olduğu açıkça görülmektedir. Bu ülkeler aynı zamanda sahip oldukları teknoloji ile ürettikleri ürün veya işlenmiş materyalleri diğer ülkelere satarak ekonomilerini kalkındırmaktadırlar.

Veri kavramı, işlenmemiş her türlü ham veriye verilen genel isimdir. Bilgi kavramı ise bilişim sistemleri kullanılarak kaydedilebilen, görüntülenebilen, aynı şekilde tekrar oluşturulabilen, takip edilebilen ve yorumlatılabilen verilerdir. Kısacası ham verinin işlenmiş haline bilgi denilmektedir (Durak, 2011). Kurumlar, kuruluşlar ve bireyler veri saklama yöntemi olarak fiziki alan kaplamaması, erişim kolaylığı sunması, hızlı işlenmesi vb. önemli nedenlerden dolayı dijital ortamı (hdd - ssd - flash bellek vb.) tercih etmektedir. Hatta günümüzde bulut depolama yöntemlerinin de gittikçe daha yaygın bir şekilde kullanıldığı gözlemlenmektedir. Sayısal veriler; kullanılacağı alana göre fotoğraf, çizim dosyaları, üç boyutlu tasarım dosyaları, metin, ses, veri tabanı, yazılım kodu, video gibi birçok farklı şekilde dijital ortamlarda yer almakta ve saklanmaktadır. Donanım düzeyinde verilerin saklandığı bellekler, transistör olarak isimlendirilen devre elemanlarından oluşur. Transistörün akımı ilettiği durum "1" ile iletmediği durum ise "0" ile sembolize edilir ve buradaki her "1" ve "0"a dijit denilmektedir. Bilişim sistemi tarafından transistörlerin bu durumlarını bilişim sistemi kullanıcısının anlamlandırabileceği şekildeki ikilik sayı sistemindeki (binary) 1'lere ve 0'lara mantıksal olarak dönüşümü gerçekleştirilir. Bilgisayarda veri saklamak için kullanılan en küçük birim bit olarak ifade edilir. Bit ifadesi de **Binary digit**'ten gelmektedir.

Moore yasasına göre 18 ayda bir mikroçip üzerine yerleştirilebilecek transistör sayısı iki katına çıkmaktadır (Moore, 2006). Bu da bilgisayar işlemcilerinin kapasitelerinde üstel bir hız sağlanacağı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla her 18 ayda bir mikroçipler sayesinde çok daha hızlı veri üretimi yapılabilir hale gelecektir. David Sayce'a göre 2020 yılında günde 500 milyon tweet atılmıştır (Sayce, 2020). Kinsta'da yayınlanan analize göre Facebook'da 2020'nin her gününde dört petabayt veri üretilmiştir (Osman, 2021). Internet Live Stats'a göre Google'da günde yaklaşık 5,5 milyar arama başka bir deyişle saniyede 63.000'den fazla arama sorgusu yapıldığını belirterek 2022

sonunda toplamda 2 trilyondan fazla arama isteğinin oluşacağını göstermektedir (Internet Live Stats, 2022). Cybercrime Magazine'nin hazırlamış olduğu "The 2020 Data Attack Surface Report" raporuna göre depolanacak verilerin büyüme istatistiklerine bakıldığında hem genel hem de özel bulut altyapısının 2025 yılına kadar 200 zettabayt (ZB) fazla veri alanı gereksinimi olduğu anlaşılmaktadır (Morgan, 2020). Bahsedilen verilerin boyutlarından da anlaşılacağı üzere günlük hayatta oluşturulan veri miktarı arttıkça bu verilerin depolanacağı alanlar da doğru orantılı olarak artacaktır. Veri depolama birimlerinin artması ve kullanımlarının yaygınlaşması da farklı yer, kişi ve zaman dilimlerinde dijital veri kayıplarının oluşma olasılığını dolaylı olarak arttıracaktır.

Yukarıda bahsedildiği üzere bilişim sistemi tarafından anlamlandırması beklenen transistörlerin durumlarından elde edilecek verinin bir kısmının ya da tamamının işlenememesi durumunda veri kaybından söz edilmektedir. Bireysel veya kurumsal olarak dijital veri kaybı sonrasında oluşan kötü etkilerinin ölçeklemesi yapılacak olunursa; bireylerin dijital veri kaybından dolayı oluşan kayıpları genellikle manevi değeri daha yüksek, kurum veya kuruluşların dijital veri kaybından dolayı oluşan kayıpları ise maddi değeri daha yüksek olmaktadır. IBM Security ve Ponemon Enstitüsü'ne göre veri ihlalden kaynaklı veri kayıplarının son 5 yılda oluşturduğu maliyetlerin miktarını aşağıdaki şekilde saptamışlardır (IBM Security ve Ponemon Enstitüsü, 2021):

- 2017 yılı için 13 ülkedeki 419 şirket için ortalama 3,62 milyon Amerikan Doları,
- 2018 yılı için 15 ülkedeki 447 şirket için ortalama 3,86 milyon Amerikan Doları,
- 2019 yılı için 16 ülkedeki 507 şirket için ortalama 3,92 milyon Amerikan Doları,
- 2020 yılı için 17 ülkedeki 524 şirket için ortalama 3,86 milyon Amerikan Doları,
- 2021 yılı için 17 ülkedeki 537 şirket için ortalama 4,24 milyon Amerikan Doları.

Dijital veri kaybı olayları incelendiğinde, temelde veri barındıran dijital medyanın yazılımsal, donanımsal veya yarı donanımsal etkilere maruz kalması sebebiyle veri kaybının olduğu görülmektedir. Bu yüzden veri kurtarma işlemleri yazılım, donanım ve yarı donanım kaynaklı sorunlar olarak üçe ayrılmaktadır. Yazılımsal arızalar, dijital kayıt ortamının sağlam olması ve kayıt ortamının bulunduğu cihazın da çalışır durumda olmasına rağmen istenilen bilgiye ulaşılamaması durumudur. Donanımsal arızalar ise verilerin kayıt edildiği ortama göre farklılaşan arıza türleridir. Yarı donanımsal arızalar ise, veri kayıt ünitelerindeki donanıma gömülü olan yazılımlardan kaynaklanan arıza durumlarıdır.

1.1. Tezin Amacı ve Literatüre Katkıları

Yekpare veri depolama birimleri olan hafıza kartlarında ve flash belleklerde arıza türü donanımsal ise bu cihazlardan veri kurtarma işlemi gerçekleştirilmesi için ilk olarak bu veri depolama birimlerini özel donanımlar üzerine Teknolojik Test/Temas Noktası (TTN) kullanılarak lehimlemesinin yapılması gerekmektedir. Lehimleme sayısı 8 bit veri yolu kullanan cihazlar için on yedi adet (*VCC, VSS, ALE, CE, CLE, RB, RE, WE, WP, D0...D7*), 16 bit veri yolu kullanan cihazlar için otuz bir adet (*VCC, VSS, ALE, CE0...CE3, CLE, RB0...RB3, RE, WE, WP, D0...D15*) olmaktadır. Geliştirilen donanım ve kablolar ile bu lehimleme işleminin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. USB hard disklerde sata veri yolunu kullanabilmek için, dört veri yolu, 5V ile topraklama olmak üzere toplamda 6 lehimlemenin yapılması gerekmektedir. Tez çalışmasında geliştirilen cihazların genel özellikleri şu şekildedir:

- Yekpare microSD hafıza kartları için geliştirilen ilk donanım ile tez çalışması süresince yapılan inceleme neticesinde yaygın olarak kullanıldığı tespit edilen ve TTN'lerine göre 3x7, 4x6 ve 15x2 olarak isimlendirilen microSD hafıza kartlarını hiçbir lehimleme yapmadan geliştirilen donanım üzerine yerleştirerek doğrudan ham veriyi okumak için kullanılacaktır.
- Geliştirilen ikinci donanım ise aynı TTN'ler ile sık karşılaşılmayan microSD, SD veya yekpare USB flash belleklere pratik olacak şekilde en az sayıda lehimleme yaparak veriyi okumak için kullanılacaktır. Ayrıca bu cihaz Nand bellek okuyabilen tüm cihazlara sinyal aktarımı yapabilecek şekilde tasarlanmıştır.
- TTN'ler arasındaki veri yolları kopmuş olan microSD hafıza kartlarının kopuk bağlantılarının sağlanarak ters takılmış micro SD hafıza kartlarının okutulabilmesi ve neticesinde veri kurtarılmasını sağlamak üzere ters takılmış hafıza kartlarını okuyabilen kart okuyucular geliştirilmiştir. Ayrıca bu kart okuyucuna çeşitli amaçlarda kullanmak üzere USB arayüzü kabloya entegre edilerek kartın okuyucuya takılarak direkt olarak USB arayüzünden verinin alınabilmesi sağlanmıştır.
- USB arayüzlü hard disklerin SATA bağlantısını sağlayabilmek için USB hard diskin sata dönüşümünü gerçekleştirebilecek bir donanım geliştirilmiştir. Bu donanım sayesinde sadece USB hard diskler değil M.2 veya Msata arayüzlü veya diğer özel arayüzlü belleklerin okutularak veri alınabilmektedir.

Ayrıca herhangi bir veri kaybı oluşması durumunda izlenmesi gereken adımlar için akış diyagramları hazırlanmış ayrıca veri kaybına uğramamak için de yapılması gereken işlemler sıralanmıştır.

1.2. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır ve bu bölümler aşağıdaki şekilde organize edilmiştir.

Birinci bölümde, tez çalışmasının konusunun günümüzdeki ve gelecekteki önemi, veri kaybına neden olan temel konu başlıkları, veri kayıpları yaşanması durumunun oluşacak maddi kayıplar hakkında genel bir giriş yapılmaktadır. Tez çalışmasının amacına ve bu tez çalışmasının literatüre katkılarına değinilmektedir.

İkinci bölümde, tez konusuyla ilgili ulusal ve uluslararası literatürdeki mevcut çalışmalar incelenmektedir.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasında kullanılan materyal ve yöntemler anlatılmaktadır. Dijital veri saklama birimleri, veri kaybına neden olan sebepler ve örnekleri, veri kurtarma yöntemleri ve örnekleri detaylıca incelenmektedir.

Dördüncü bölümde, tez çalışmasında geliştirilmiş olan donanım ve kablolar örnekler üzerinden ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır. Tez süresi boyunca gerçekleştirilen veri kurtarma işlemlerinin istatistiki bilgisine yer verilmektedir. Ayrıca veri kaybı durumunda izlenmesi gereken işlem adımları ile veri kaybına uğramamak için alınması gereken önlemler sunulmaktadır.

Son olarak beşinci bölümde, tez çalışmasında elde edilen genel sonuçlar ile veri kurtarma ile ilgili olarak gerçekleştirilmesinde fayda olduğu düşünülen öneriler özet olarak verilmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde dijital kayıt birimlerinden veri kurtarma ile ilgili yapılan çalışmaların bazıları bu bölümde incelenmektedir.

Breeuwsma ve ark. (2007) cep telefonları ve PDA'lar gibi gömülü sistemlerden veri kurtarmada kullanılan adli bilişim araçlarının genellikle mantıksal düzeyde bir veri çıkarma işlemi gerçekleştirdiğini ve veri analizi sırasında depolama ortamının türünü dikkate almadığını belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, flash belleklerin adli incelemesi için ve flash belleklerden tam bellek kopyalarını elde etmek için üç ileri seviyeli veri çıkartma yöntemini (Flasher Tools, JTAG, Physical Extraction) önermişlerdir. Bunun için farklı marka ve modelden toplamda 45 adet USB'nin bellekleri ile farklı markalardaki cep telefonları bellekleri üzerinde yapmış oldukları çalışmanın sonuçlarını sunmuşlardır.

Burghardt ve Feldman (2008), HFS+ dosya sistemini kullanan bir cihazdan yazılımsal olarak silinmiş dosyaların nasıl kurtarılacağına dair bir araştırma yapmıştır. HFS+ dosya sisteminde yazılımsal olarak silinmiş dosyaların kurtarılması üzerinde durmuştur. HFS+ dosya sistemlerinde, dosyalar üzerindeki G/Ç işlem geçmişlerinin bir günlükte tutulduğunu ve bu geçmişlerin dosya sisteminden son silinen dosyaların kurtarılabilceğini belirtmektedir. Ayrıca HFS+ dosya sistemi üzerinden kurtarma yapan diğer yöntemler ile karşılaştırılması yapılarak avantajlarını anlatmışlardır.

Park ve ark. (2008), sıkıştırılmış dosyaların bozulması durumunda mevcut olan yazılımların sıkıştırılmış dosyaların sadece başlık (header) kısımlarının bozuk olması durumunda kurtarma işlemi yaptığını belirtmiştir. Kendi geliştirdikleri yazılımın ise sıkıştırma yazılımlarının, dosyaların sıkıştırılması işlemi sırasında kullanmış oldukları ana sıkıştırma algoritması olan DEFLATE şeması kullanılarak veri kurtarılabilceğini anlatmıştır. Ayrıca normal kullanımda ve adli bilişim alanında kullanılabileceğini aktarmıştır.

Morgan (2008) çalışmasında, kendisinin yaptığı çalışmaya kadar birçok araştırmacının kayıt defteri üzerinde çalıştığını ancak hiçbirinin Windows NT tabanlı kayıt defteri üzerinde çalışmadığını belirtmiştir. Yaptığı çalışma neticesinde bir bütün olarak kayıt defteri bağlamında silinen anahtarları, değerleri ve diğer yapıları kurtarmak için bir algoritma geliştirdiğini aktarmıştır.

Akman (2009) Raptor kodları kullanarak JPEG 2000 videolarında hata kurtarımı üzerine bir çalışma hazırlamıştır. JPEG 2000 formatının diğer video formatlarına göre avantajlarını belirtmiş ve özelliklerini açıklamıştır. Video akışında JPEG 2000 kullanan

dosyaları gerçek zamanlı taşıma protokolü (real time transport protocol, RTP) paketlerine dönüştüren ve bir dosyada toplayan yazılım hazırlamıştır. JPEG 2000 video akışı için RTP yük (payload) formatı belirlenip kodlamıştır. Ölçeklenebilirlik ve veri kurtarma konusunda ek özellikler kazandıran eklentiler yapmıştır. JPEG 2000 video akışı özellikleri göz önüne alınarak, üzerine Raptor kodları eklenerek veri iletimi sırasındaki paket kayıplarına karşı koruma sağlayan yazılım hazırlamıştır.

Bell ve Boddington (2010) mevcut delil elde etme süreçlerine ve talimatlarına güvenmenin yeni nesil diskler için artık yeterli olmadığını belirtmişlerdir. Özellikle, modern depolama cihazlarının aktif kullanımda olmadıkları zamanlarda (idle) depoladıkları veriler üzerinde kendi kendilerine işlem yaptıklarını göstermişlerdir. Yapılan bu işlemler, geleneksel kurtarma yöntemleri açısından oldukça zararlı olduğunu tespit etmişlerdir. Adli bilişim açısından değerlendirildiğinde bu işlemlerin kanıtları bozabileceğinden dolayı, inceleme raporlarını karartabileceğini ve iddia konusu işlemlerin doğrulamasını zorlaştırabileceğini ya da engelleyebileceğini belirtmişlerdir. Katı hal sürücülerinin (SSD'ler), aktif kullanımda olmadıkları zamanlarda depoladıkları veriler üzerinde kendi kendine işlem yaptığını deneysel bulgular üzerinden tespit etmişlerdir.

Altheide ve Carvey (2011) çalışmalarında veri kurtarma açısından önemli olan kavramları (MBR, GPT, FAT, MFT, RAID vb.) adli bilişim açısından detaylıca açıklamışlardır. Açık kaynak olarak kullanılabilir çeşitli veri kurtarma yazılımları ile bunların kullanımlarından (fotoğraf kurtarma, Raid yapıdaki disklerden veri kurtarma vb.) bahsetmiştir.

Chivers ve Hargreaves (2011) Windows işletim sistemindeki arama aracının (Windows Search) kişisel bir bilgisayardaki kullanıcıların kullanmış oldukları dosyaların, e-postaların, yazılımların ve internet geçmişlerinin listesi bir veri tabanında tutulduğunu, ilgili dosyaların bilgisayardan silindiğinde bu kayıtların Windows Search veri tabanından da kaldırıldığını açıklamışlardır. Burada tutulan bazı bilgilerin adli bilişim incelemesi açısından değerli bir bilgi kaynağı sağladığından bahsetmişlerdir. Mevcut araçların ise Windows Search arama aracının yazılımsal arayüzünden faydalanarak ilgili veri listesine ulaştığını, bunun da veri tabanı içinde veya dosya sisteminin kullanılmayan alanlarında kalabilecek silinmiş kayıtları kurtaramadığını tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada silinen veri tabanı kayıtlarının kurtarılmasında faydalı olabilecek birkaç farklı strateji geliştirdiklerini belirtmişlerdir.

Şirikçi (2013) çalışmasında, veri kurtarma kapsamında kapalı kaynak kodlu yazılımlar ile açık kaynak kodlu ve ücretsiz olan yazılımları karşılaştırmıştır. Aynı özellikteki 5 farklı USB belleğe 10 farklı türde dosya ayrı ayrı yüklenip, silinmiş sonrasında da ayrı ayrı veri kurtarma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, veri kurtarma işlemlerinde kurtarılan dosyalar açısından kapalı kaynak kodlu yazılımların daha başarılı olduğu saptanmıştır.

Kara (2013) çalışmasında, herhangi bir nedenle arızalanmış veya silinmiş olan verilerin depolama biriminden kurtarılması ile ilgili mevcut yöntemlerin analizlerini gerçekleştirmiştir. Analiz neticesinde elde ettiği sonuçları ve veri kurtarma yöntemlerinin başarı oranına göre kıyaslamasını yapmıştır.

Winter (2013), SSD ve HDD karşılaştırmalarına yönelik yapılan araştırmalarda genellikle birkaç temel alanın (maliyet, performans, kapasite, güç, soğutma ve güvenilirlik) ele alındığını ancak veri kurtarma ve veri imhası alanlarının ihmal edildiğini belirterek, SSD ve HDD'leri veri kurtarma ve veri imhası yönünden karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir.

Güllüce ve Benzer (2015) veri kurtarmayı, veri kurtarma türlerini, sabit disklerin fiziksel yapısı ve iç bileşenlerini açıklayarak herhangi bir sebepten dolayı donanımsal olarak bozulmuş olan hard disklerden nasıl veri kurtarılacağı konusunda bilgi verilmiştir.

Jarolím (2016) çalışmasında optik veya elektron mikroskobu kullanılarak optik bir diskin taranmış bölümleri üzerinden elde edilen görüntülerinden bir veri akışı elde edebilecek bir yazılım geliştirmiştir. Optik disk üzerindeki bir verinin gösterimini, çalışması yapılacak örnek CD ve DVD'lerin hazırlanma sürecini ve bu örneklerin taranmasını incelemiştir. Elde edilen görüntülerden verilerin yeniden yapılandırılması için geliştirilen yazılımın algoritmasını, testlerini ve sonuçlarını sunmuştur.

Sestanj (2016) Flash bellekler üzerinde yaptığı araştırmalar sonucunda; NOR ve NAND veri belleklerin çalışma prensibini, bu belleklerden veri kurtarma tekniklerinin anlaşılması ve veri kurtarma işlemleri sırasında kullanılmak üzere test ettiği yöntemleri içeren kılavuz niteliğinde bir kitap hazırlamıştır.

Taşkın (2016) çalışmasında, fiziksel olarak arızalanmamış ve kullandığı NTFS dosya sistemi sağlam olan bir dosya sisteminden silinmiş olan bir dosyanın MFT dosyası kullanılarak kurtarılması ve dosya sisteminden bağımsız olarak silinmiş bir dosyanın ham veri kurtarma yapılmasını sağlayan iki farklı yazılım geliştirmiş ve bu kurtarma işlemlerinin sonuçlarını karşılaştırmıştır. İki veri kurtarma yönteminin birbirinin alternatifi olmadıklarını aksine birbirini tamamlayan yöntemler olduğunu belirterek, veri

kurtarma işlemi yapılırken her iki yöntemin de beraber kullanılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Güllüce ve ark. (2016) dijital verilerin kurtarılması ile ilgili olarak, dosya sistemlerinin analiz edilmesi ve dosyaların üst bilgilerinden kullanılması suretiyle temelde iki yöntemin mevcut olduğundan bahsetmişlerdir. Dosya sistemleri hakkında genel bilgi verdikten sonra NTFS dosya sisteminde bir dosya oluşturulurken ya da silinirken meydana gelen işlemleri açıklamışlardır. Veri kurtarma işlemlerinde gerçekleştirilen iki farklı yöntemin avantaj ve dezavantajlarını açıklayıp örnek bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.

Sestanj ve Edwards (2019) bir veri depolama cihazı donanım arızaları dışındaki bir nedenden dolayı arızalandığında verileri kurtarmak için makine öğrenimi ve yapay zekâ teknolojilerini kullanmanın yollarını açıklamaya çalışmışlardır. Makine öğrenimi ve yapay zekâ tabanlı teknolojilerin, veri kurtarma mühendislerinin günlük olarak kullandığı sıralama, kazıma (carve) veya analiz gibi belirli işlemler için yararlı sonuçlar ortaya çıkardığını görmüşlerdir.

Solodov ve Solodov (2021) fiziksel olarak hasar görmüş sürücüler ile ilgili veri kurtarma konusunda birçok yanlış anlamamanın olduğunu; adli bilişim alanında ilk müdahale eden kolluk görevlilerinin, genellikle, yalnızca dijital materyalin dış görünüşlerine bağlı olarak, -bazı durumlarda doğru olsa da- ağır hasar görmüş sabit diskleri değerlendirmediklerinden bahsetmiştir. Modern sabit disklerin tasarımı, bir yangın durumunda bile ek koruma katmanları (dizüstü bilgisayar ekranı, klavye gibi) sayesinde veri kaybı riskini önleyebildiğini veya azaltabildiğini belirterek, yangından etkilenmiş olan farklı sabit disk ve katı hal sürücülerinden veri kurtarma işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için yapılması gereken tüm işlemleri ayrıntılı olarak açıklamışlardır.

Li ve ark. (2022) mobil cihazların flash belleğindeki veri parçası (fragment) türünün tespiti, düşük seviyeli veri kurtarma için önemli bir ön koşul olduğunu ve bu alanda yapılan daha önceki çalışmalar veri parçalarının dosya türüne göre sınıflandırılması ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Veri parçalarının sınıflandırılmasının doğruluğunu ve verimliliğini artırmak için ayrıntılı bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yöntem ile veri bölümünün kodlama biçimini temel alarak flash bellek sayfasının veri tanıma sorununu yeniden tanımladıklarını ve flash sayfasının veri türünü algılamak için hibrit bir makine öğrenme algoritması uygulamışlardır. Yöntemlerinin mevcut

yöntemlerden daha iyi sınıflandırma doğruluğu ve daha iyi bir zaman performansı sağladığını deneysel sonuçları ile göstermişlerdir.



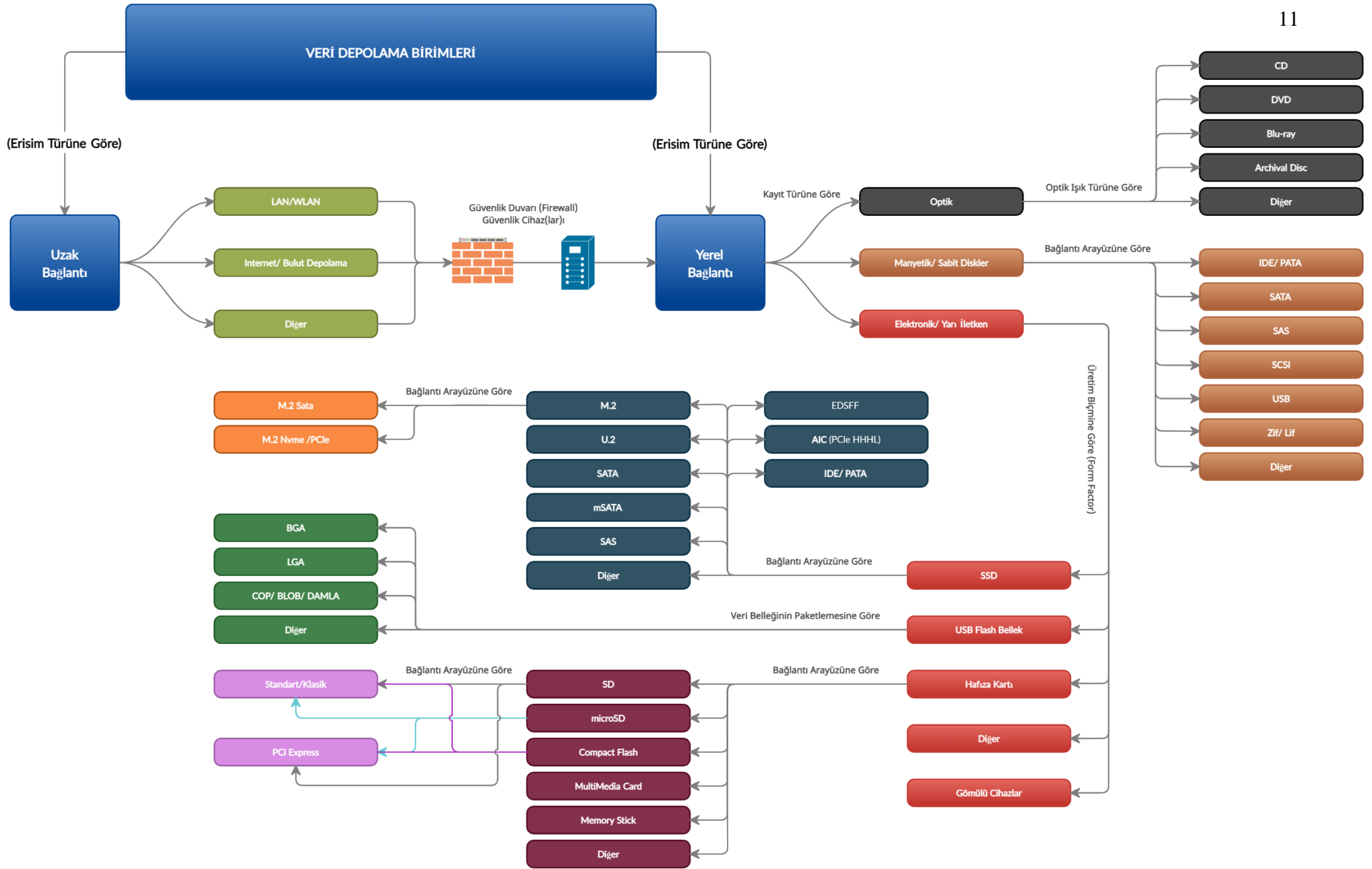
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Veri Depolama Birimleri

Veri, dijital ortamlarda taşınan sinyaller ya da bit dizeleri şeklinde depolanan işlenmemiş ham bilgi parçacıklarına verilen genel bir isimdir (Durak, 2011). Veriler bilişim sistemlerinde kalıcı (non-volatile) ve geçici (volatile) olmak üzere iki şekilde depolanmaktadır. Geçici bellekler veriyi elektrik akımı (güç) varken tutar, güç kesilirse veriyi tutamazlar. Tez sınırlarının belirli olması açısından, son kullanıcıların kullanmakta olduğu bilişim sistemlerindeki verilerin kalıcı belleklerde hangi depolama birimlerinde saklandığı açıklanacaktır.

Veri depolama birimleri erişim seçeneklerine göre yerel ve uzak bağlantı sunma seçeneklerine göre ikiye ayrılır. Yerel bağlantı ile erişilen depolama ortamı ile kast edilen, bir kullanıcının bilişim sisteminin anakartına doğrudan bağlanabilen optik cihazlar, manyetik ve flash bellek barındıran cihazlara erişimidir. Uzak bağlantı ile erişilen depolama ortamı ile kast edilen bir bilişim sistemindeki depolama birimine yerel ağdan veya internet üzerinden kablolu veya kablosuz olarak bağlanılabilmektedir. Uzak bağlantı ile bağlanılan bilişim sistemi kullanıcıya sunmuş olduğu depolama ortamı düşünüldüğünde bir yerel depolama ortamı sunmaktadır. Bu arada, cep telefonu ve tablet gibi taşınabilir cihazlar ile birlikte internetin yaygın olarak kullanılması sonucu yer ve zamandan bağımsız olarak erişilebilmesini sağladığı için bulut depolamanın kullanımını çok hızlı bir şekilde arttırmıştır (Keskin ve ark., 2020).

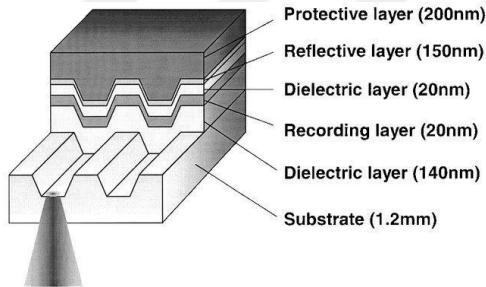
Bilgisayarın kullanım amacının belirlenmesi depolama gereksinimlerini planlamada önemli bir adımdır. Veri depolama birimleri bağlantı arayüzü, paketleme/üretim biçimi ve veri kayıt tekniği açısından birbirlerinden farklı özelliklere sahiptir. Depolama birimlerindeki dijital veriler; manyetik, optik ve yarı iletken (elektronik) ortamlarda depolanmaktadır. Dâhili veya harici sabit diskler, SSD'ler, fotoğraf makinaları, tabletler, cep telefonları, USB flash bellekler, hafıza kartları ve CD/DVD/Blu-Ray'ler günlük hayatta sıklıkla kullanılan veri depolama ortamlarıdır. Bu ortamlar bilgisayar oyunlarını, fotoğrafları, internet sayfalarını, ses dosyalarını, veri tabanlarını, videoları, yazılımları vb. gibi birçok biçimdeki dijital veriyi depolamak için kullanılmaktadır. Veri barındıran depolama ortamları belirli ölçütlere göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma bilgi grafiği olarak Şekil 3.1'de sunulmuştur. Bu depolama birimleri hakkında detaylı bilgi ilgili başlıkların altında verilecektir.



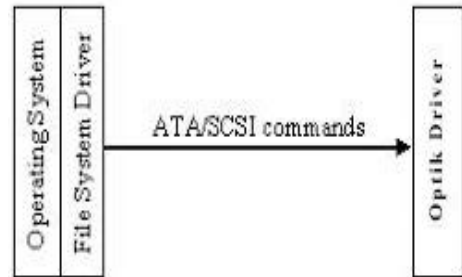
Şekil 3.1. Veri depolama birimleri ve sınıflandırılmaları

3.1.1. Optik diskler

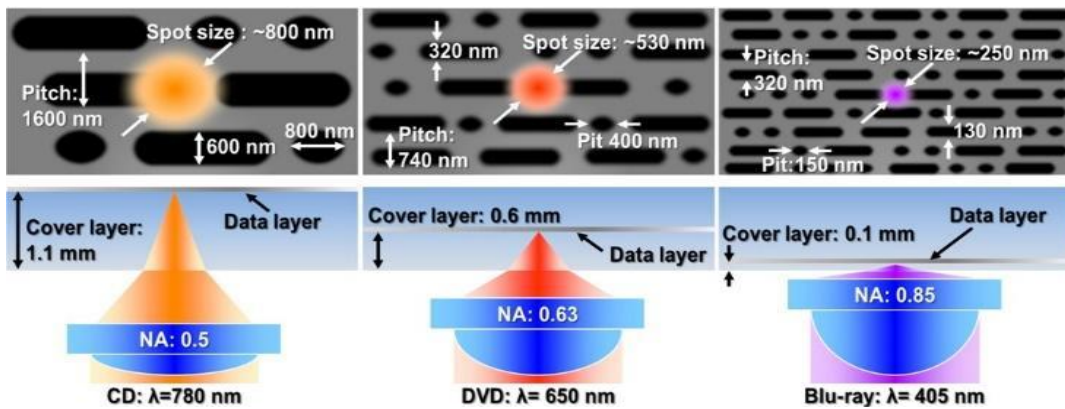
Optik disk, düşük güçlü lazer ışınları kullanılarak yazılabilen, okunabilen optik veri depolama ortamıdır. GD-Rom, Universal Media Disc vb. türleri olsa da yaygın olarak kullanılan 3 tür optik disk vardır: CD, DVD ve Blu-Ray. Optik diskler genel olarak koruyucu katman, lazer ışığını yansıtan parlak katman, verileri depolayan kayıt katmanı ve polikarbonat katmandan oluşurlar (Şekil 3.2). Fiziksel ebatları birbirlerinin aynısıdır. Optik sürücülere veri yazma işlemi; işletim sistemi, dosyalama sistem sürücüsü, optik disk sürücüsü ve optik medya şeklinde, okuma işlemi ise bunun tam tersi şeklinde gerçekleşir (Şekil 3.3). CD/DVD/Blu-ray optik disklerindeki veri alanı (data pit), mesafeleri (pitch) ve lazer nokta (spot size) ölçütleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Optik diskler okuma ve yazma teknolojisi açısından geriye yönelik çoğunlukla uyumludur. Yani en son üretilen BD sürücüler, ilk üretilen müzik CD'lerini oynatabilmektedir. Ayrıca CD'leri okuyup-yazabilen ancak DVD'leri sadece okuyabilen cihazlara da Combo Driver denilmektedir. Veri kaydedilen katman, optik medya türüne göre değişmekle birlikte optik diskin en üstünde veya en altında bulunmaz.



Şekil 3.2. Optik disk katmanları
(Ho ve ark., 1999)

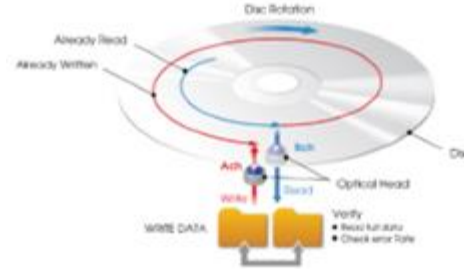


Şekil 3.3. Optik sürücü çalışma prensibi
(Breeuwsma ve ark., 2007)



Şekil 3.4. CD/DVD/Blu-ray disk veri alanı, mesafeleri ve lazer noktası ölçütleri (Hwu ve Boisen, 2018)

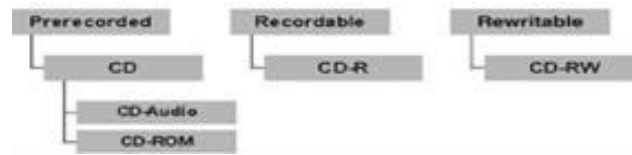
Optik diskleri, hdd ve flash belleklerden veri yazılacak alan bakımından ayıran en önemli fark, optik disklerin dairesel olarak tek bir izden (track) oluşmalarıdır. Dairesel yapı, optik medyanın iç kısmından başlayarak dış kısmına doğru ilerler (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Optik disk okuma/ yazma işlemi (González Weichselbaum, 2018)

3.1.1.1. CD

CD, (Compact Disc - Yoğun Disk) 780 nm'lik kızılötesi ve kırmızı kenarlı lazer dalga boyuna sahiptir. Philips ve Sony tarafından 1982 yılında polikarbonat plastikten kullanılarak üretilmiştir (Mustroph ve ark., 2006). Audio CD, CD-MIDI, CD-ROM, Video CD (VCD), Photo CD, CD-i, VinylDisc gibi birçok CD çeşidi mevcuttur. Standart olarak 650-700MB kapasiteye sahip olsa da 10-65 MB veya 185-210 MB kapasitelere sahip olanları da mevcuttur. CD'lerin yazılma durumlarına göre sınıflandırılması Şekil 3.6'da sunulmuştur.

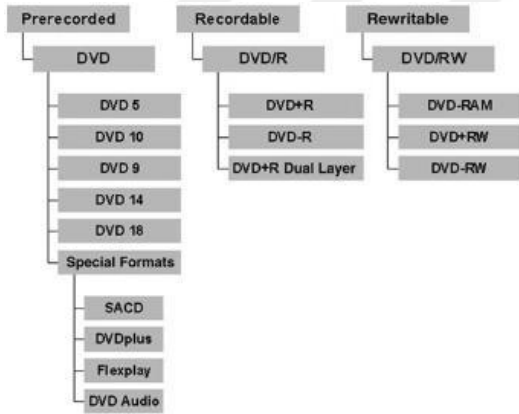


Şekil 3.6. Yazılma durumuna göre CD Sınıflandırılması (Mustroph ve ark., 2006)

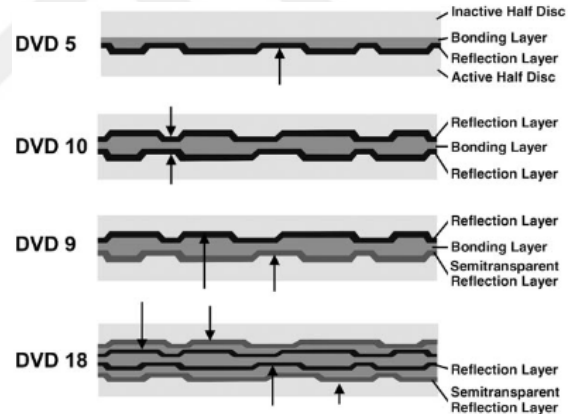
3.1.1.2. DVD

DVD (Digital Versatile Disk - Çok Amaçlı Sayısal Disk) 650 nm'lik kırmızı lazer dalga boyuna sahiptir. İlk defa 1996 yılında üretilmiştir (Osso, 1999). CD'ye göre katman teknolojisi farklı olup, yüzeyindeki veri kayıt alanları çok daha küçüktür. DVD'ler 0.6 mm kalınlığında plastik kaplı polikarbonattan, iki diskin birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu iki disk birbirine yapıştırılarak oluşturulan disk, iki tarafından ya da tek tarafından

okunabilecek şekilde tasarlanabilmektedir. Yaklaşık 12 cm veya 6 cm çapta ve 1,2 mm kalınlığında olup ince yansıtıcı bir tabakayla kaplanan optik disk türüdür. CD'ye göre katman teknolojisi farklı olup, yüzeyinde yer alan boşluklar daha küçüktür. Verilerin yazılmasında veya okunmasında kırmızı lazer ışını kullanılmaktadır. DVD'lerin yazılma durumuna sınıflandırılması Şekil 3.7'de, DVD türlerinin katmanlarının yapısı Şekil 3.8'de, bu katmanların türlerinin kapasiteleri ise Çizelge 3.1'de sunulmuştur. DVD-R ve DVD+R şeklinde bir ayrımın olmasının sebebi ise '+' ve '-' biçimlerini destekleyen "DVD Forum" ve "DVD+RW Alliance" isimli iki farklı şirketler birliğinin olmasıdır. İki şirketler birliğinin de kendi standartları vardır. '-' formatını DVD Forum üyeleri öne sürerken DVD+RW Alliance üyeleri '+' formatını öne sürmekte ve desteklemektedirler. DVD yazıcılar '+' olan medyalarla biraz daha hızlı yazabilmektedir. Ayrıca '-' medya yazılırken sonlandırma (finalize) zorunluluğu varken '+'da böyle bir zorunluluk yoktur. Kısacası '-' formatında yazma işlemi bitince başka bir şey yazmak mümkün değildir ama '+' da mümkündür(Hsu ve ark., 2013). DVD türlerinin türleri, yazılma tarafları, katmanları ve kapasite bilgilerini içeren tablo Çizelge 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.7. Yazılma durumuna göre DVD Sınıflandırılması (Mustroph ve ark., 2006)



Şekil 3.8. DVD türlerinin katmanlarının yapısı (Mustroph ve ark., 2006)

Çizelge 3.1. DVD türlerinin kullanılan tarafı, katmanı ve kapasitesi

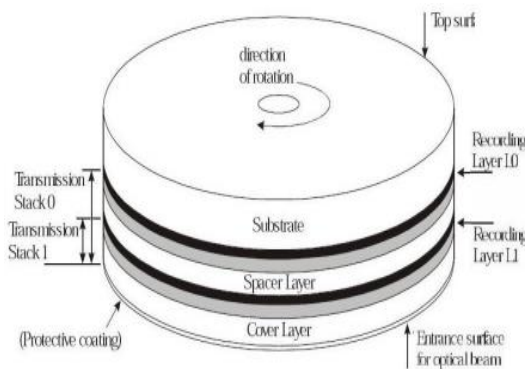
Tür	Tarafı (Side)	Katman	Kapasite
DVD 5	Tek taraflı	Tek katman	4.7 GB (4.38 GB)
DVD 9	Tek taraflı	Çift katman	8.5 GB (7.92 GB)
DVD 10	Çift taraflı	Tek katman, iki yüzünde	9.4 GB (8.75 GB)
DVD 18	Çift taraflı	Çift katman, iki yüzünde	17.1 GB (15.9 GB)

DVD-RAM, DVD Forum tarafından tanımlanan bir optik disk standardıdır. DVD-RAM ortamları, 1998'den bu yana bilgisayarlar, video kaydedici cihazlar tarafından

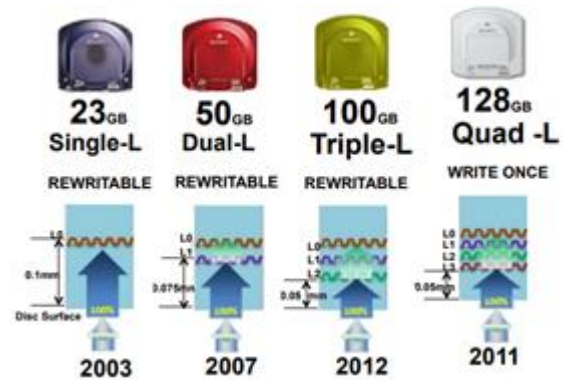
kullanılmaktadır (Taylor, 1999). DVD-RW ve DVD+RW ile beraber DVD-RAM’lerde artık yeniden yazılabilir DVD standartları arasında yer almıştır. Veri tutarlılığı, yüksek performans ve darbelere karşı dayanıklılığının fazladır (Fujifilm U.S.A. Inc., 2006).

3.1.1.3. Blu-Ray

Blu-ray (BD), yüksek çözünürlüklü ve ultra yüksek çözünürlüklü videoları depolayarak DVD'nin yerini alması için, PlayStation ve Xbox gibi oyun konsolları için hazırlanan video oyunlarının dağıtımlarının yapılabilmesi için Blu-ray Disk Birliği (Blu-ray Disc Association) tarafından üretilmiştir. Blu-ray ismini, veri yazıp okumak için kullanılan mavi-mor lazer ışınındaki “Blue” ile optik ışın anlamındaki “ray” kelimelerinin birleşmesinden almaktadır. CD ve DVD'den farklı olarak, alt yansıyan yüzeyinde mavi bir ton vardır. 405 nm’lik mavi-mor lazer dalga boyuna sahiptir. Bu optik diskler ilk defa 2003 yılında Sony tarafından geliştirilmiştir (den Uijl ve de Vries, 2013). Ticari olarak ilk defa 2006 yılında satışa sunulmuştur (Doucet ve Boivin, 2009). Blu-ray ilk üretildiklerinde yalnızca bir katmana sahipti ve 25/ 23.3 GB kapasitesi vardı. Ayrıca yazılma özelliklerine göre BD-R ve BD-RE olmak üzere iki türe sahipti. BD-R diskleri bir kere yazılır ve BD-RE tekrar tekrar yeniden yazılabilir. Bunlar katman olarak iki çeşide sahiptir: üç katmanlı (TL) ve dördü katman (QL). Bir BD-XL TL diski 100 GB'a kadar veri tutabilir ve bir BD-XL QL diskindeki veri maksimum 128 GB'a kadar çıkabilir (Blu-ray Disc Association, 2010). Ayrıca 4,5GB veri barındırabilen BD-5, 8.5GB veri barındırabilen BD-9, 23.3GB veya 25GB veri barındırabilen BD-25 ve 50GB veri barındırabilen BD-50 olarak isimlendirilen çeşitleri de vardır. BD’lerin katman yapısı Şekil 3.9’da, katman çeşitleri, kapasiteleri ve üretim yılları Şekil 3.10’da sunulmuştur.



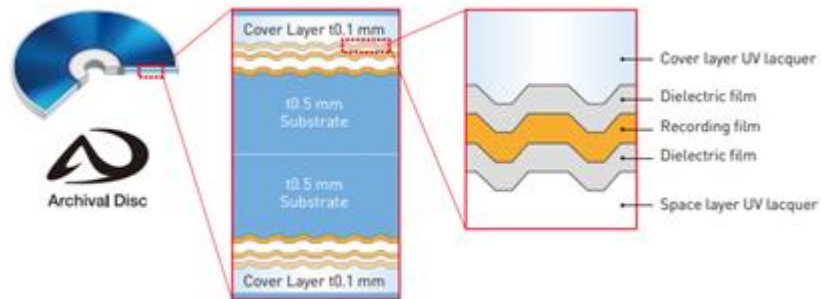
Şekil 3.9. Çift katmanlı Blu-ray'in yapısı (Patel, 2013)



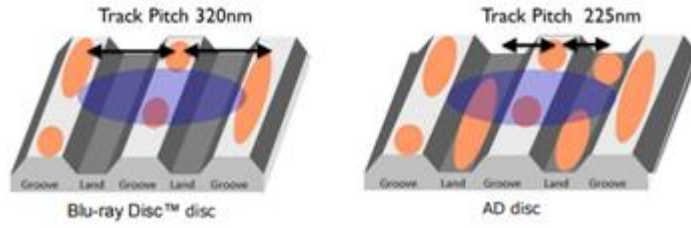
Şekil 3.10 Blu-ray'in katman çeşitleri ve kapasiteleri (González Weichselbaum, 2018)

3.1.1.4. Archival Disc

Sony ve Panasonic firmalarının yeni nesil optik diskler üretmek için 2014 yılında BD optik diskinde benzer yapıda “Arşiv Disk” (AD - Archival Disc) isimli yeni bir medya üretmek için işbirliğine girmeleri sonucu ortaya çıkmıştır. AD ileriye yönelik toza, suya, sıcaklığa, neme, aşınma ile oksitlenmeye karşı dayanabilmesi ve diskin en az 50 yıl boyunca okunabilir olmasını sağlaması amacıyla uzun süreli soğuk veri depolama için tasarlanmış optik diskler barındıran kartuş tipinde depolama ortamıdır. Okuma ve yazma işlemleri, doğrudan elektrik akımıyla pompalanan bir diyotun bağlantı noktasında kalıcı koşullar oluşturabilen yarı iletken bir cihaz olan lazer diyot ile gerçekleştirilir (Sony Corporation, 2013; Panasonic Corporation, 2014). İlk üretilen nesil ile birlikte her disk 300GB kapasiteye sahiptir ve 2015 yılında satışa sunulmuştur. İkinci nesilde, yeni olarak yüksek yoğunluklu semboller arası parazit giderme teknolojisi eklenmiş ve her disk kapasitesi 500GB çıkarılarak 2018 yılında satışa sunulmuştur. Üçüncü nesilde ise çok seviyeli kayıt/oyunatma teknolojisi eklenerek her disk kapasitesi 1TB'a çıkartılmıştır (Sony Corporation ve Panasonic Corporation, 2020). Bu optik disklerin bir kere (R) veya çok defa yazılabilen (RE/RW) çeşitleri mevcuttur. 2016 yılında Sony firması tarafından bir kere yazılabilen 3.3 TB kapasiteli ve 2020 yılında da yine bir kere yazılabilen 5.5 TB kapasiteli AD kartuşunu tanıtmıştır (Sony Corporation, 2016; 2020). AD'nin disk kayıt katmanları Şekil 3.11'de, veri kayıt alanları ve mesafeleri Şekil 3.12'de sunulmuştur. AD Sürücüsü, AD kartuşu ve AD kartuşunun iç görüntüsü sırasıyla Şekil 3.13 - 3.14 - 3.15'te sunulmuştur. Ayrıca son 1980'den Arşiv Diskin üretildiği günümüze kadarki optik disk gelişim sürecini gösteren grafik Şekil 3.16'da sunulmuştur.



Şekil 3.11. AD disk kayıt katmanları (Panasonic Corporation, 2017)



Şekil 3.12. AD veri kayıt alanları ve mesafeleri (Sony Corporation ve Panasonic Corporation, 2020)



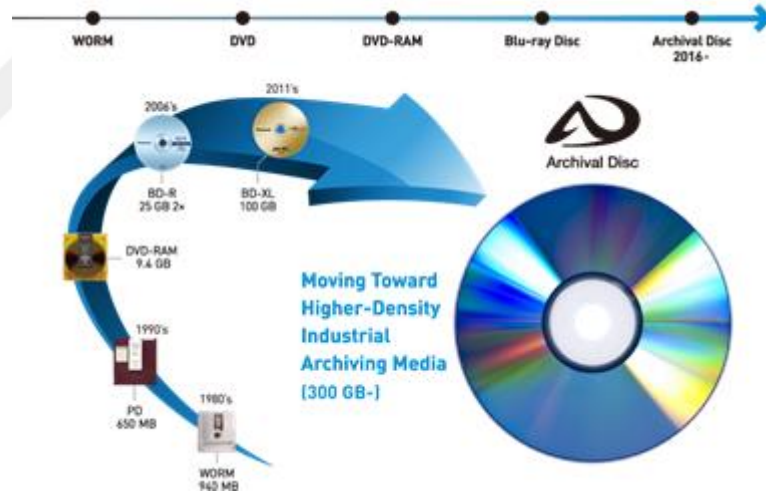
Şekil 3.13. AD Sürücüsü (Sony Corporation, 2020)



Şekil 3.14. AD kartuşu (Sony Corporation, 2020)



Şekil 3.15. AD kartuşu içi (González Weichselbaum, 2018)

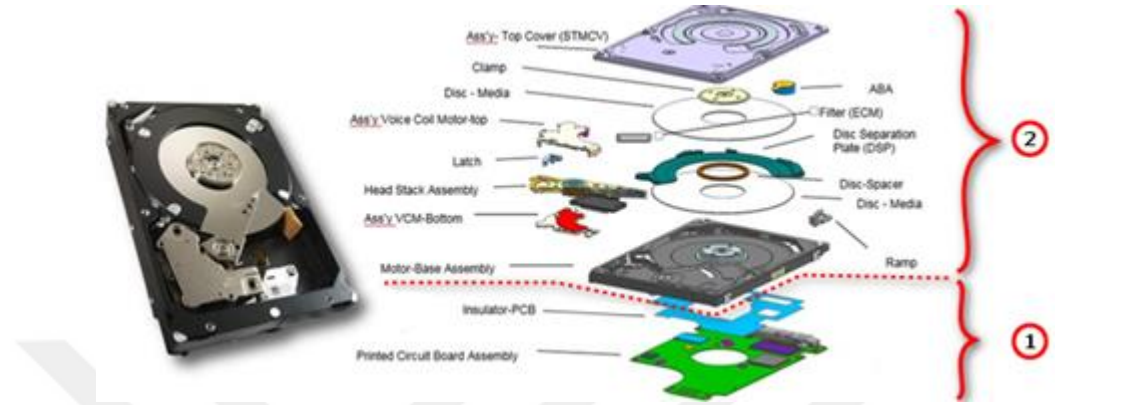


Şekil 3.16. Optik disklerin yıllara göre gelişim süreci (Panasonic Corporation, 2019)

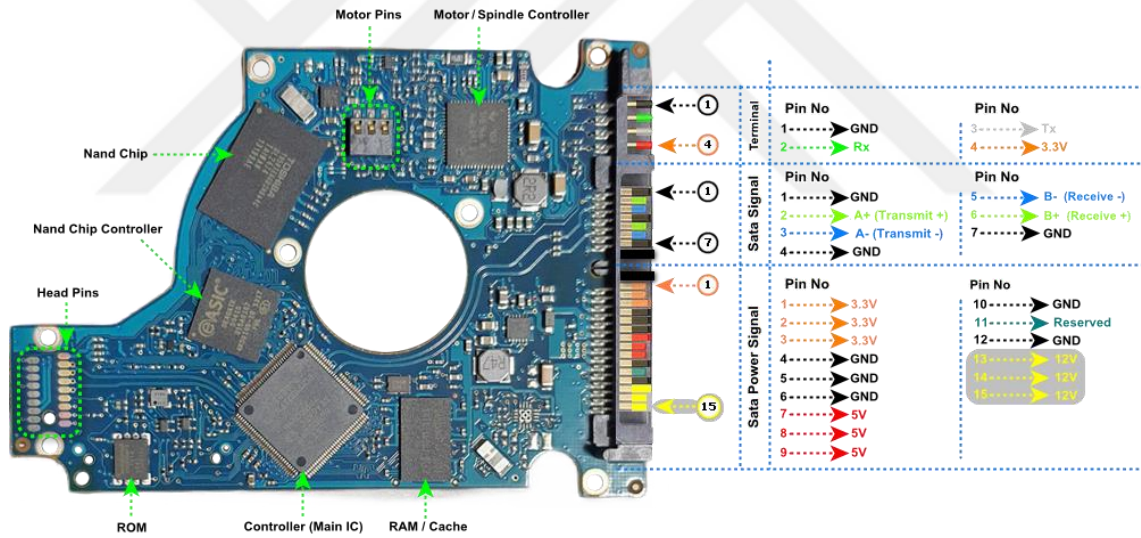
3.1.2. Sabit diskler

İlk sabit disk IBM tarafından 1956 yılında 305 RAMAC ismiyle tanıtılmıştır (Hellman ve ark., 2000). İlk üretim aşamalarında sabit diskler "fixed disks" veya "Winchesters" (IBM ürünü için kullanılan bir kod adı) olarak adlandırılıyordu. Daha sonra "sabit diskler" olarak isimlendirilmişlerdir. Sabit diskler dış görünüşü temel alınarak incelendiğinde iki yapıdan oluştuğu görülecektir (Şekil 3.17). Birincisi; veri okuma/yazma kafalarını, metal disk/ plaka (platter), motoru ve mıknatısları gibi vb.

bileşenleri içerisinde barındıran metal kasadır (hard disk assembly - hda). İkinci kısım ise elektronik devre elemanlarını, sabit diskin güç ve veri iletişimini arayüzlerini içeren baskı devre kartıdır. Şekil 3.18’de bu kartın ana bileşenleri ve güç ve sinyal çıkışları sunulmuştur (SerialATA Workgroup, 2003).



Şekil 3.17. Sabit diskin bileşenleri (Handwerker ve ark., 2017)



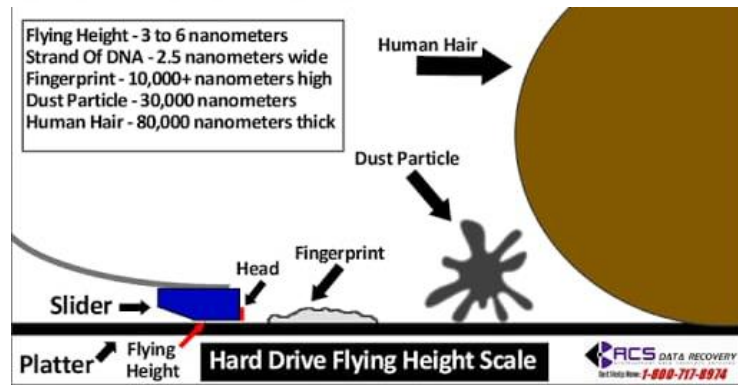
Şekil 3.18. Hard disk baskı devre kartının bileşenleri

Sabit disklerin veri yazma işlemi; işletim sistemi, dosya sistem sürücüsü, sabit disk şeklinde, okuma işlemi ise bunun tam tersi şeklinde gerçekleşir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Hard disk çalışma prensibi (Breeuwsma ve ark., 2007)

Sabit diskler verileri kalıcı olarak depolayan cihazlardır. Sabit diskin bir bileşeni de Şekil 3.17’den görüleceği üzere plaka/platterlardır (Disc-Media). Bu plakalar cam, metal ya da seramik nitelikte olup yüzeyi manyetik özellik kazandıran özel bir alaşımla kaplıdır (ÖZBEK, 2013). Veriler sabit disk içerisindeki bu plakalar üzerinde saklanmaktadır. Verilerin bu plakalar üzerine kayıt edilebilmesi ve okunabilmesi için manyetik kaplama özelliğinden faydalanılmaktadır. Sabit disklerde yazılabilen/silinebilen en temel birime sektör denir ve varsayılan boyutu 512 bayttır. Verinin yazılması veya okunması için öncelikle ilgili sektörlerle erişilmesi gerekmektedir. Bunun için de plakaların motor yardımıyla belirli dönüş hızına erişip okuma/ yazma kafaları sayesinde de ilgili sektörlerle erişim sağlanarak o sektörlerin taranıp okunması ya da yazması sağlanır (Özdemir ve Gülcü, 2021). Veri okuma/yazma kafası ile plakalar arasındaki mesafe Şekil 3.20’de görüleceği üzere gözle görülemeyecek kadar küçüktür (ACS Data Recovery, 2019). Plakalar ile okuma/ yazma kafasının birbirine yapışmamasının nedeni, plakaların dönüşüyle ortaya çıkan hava akımının plaklar ile okuma/yazma kafaları arasında mesafenin (nanometrik) oluşmasından dolayıdır. Genelde okuma yazma/ kafa sayısı, platter sayısının 2 katı kadar numaralandırılması ise tabandan “0” ile başlayarak artar.



Şekil 3.20. Sabit disk okuma kafasının plakalara olan mesafesi (Korb, 2006)

Bilgisayar ve sabit disk arasındaki veri aktarımları iki yöntemle yapılabilir: PIO (Programmed I/O – Programlanmış G/Ç) veya UDMA (Ultra Direct Memory Access – Ultra Doğrudan Bellek Erişimi). İlk yöntemde, bilgisayar CPU'su sabit disk ile RAM arasındaki aktarımlardan sorumludur. İkinci yöntemde ise bu aktarımdan anakart yonga seti sorumludur. UDMA modunda veri aktarımları sırasında CPU kullanılmadığından çok daha hızlıdır. Hız karşılaştırması Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Veri transfer standartları ve azami veri transfer hızları

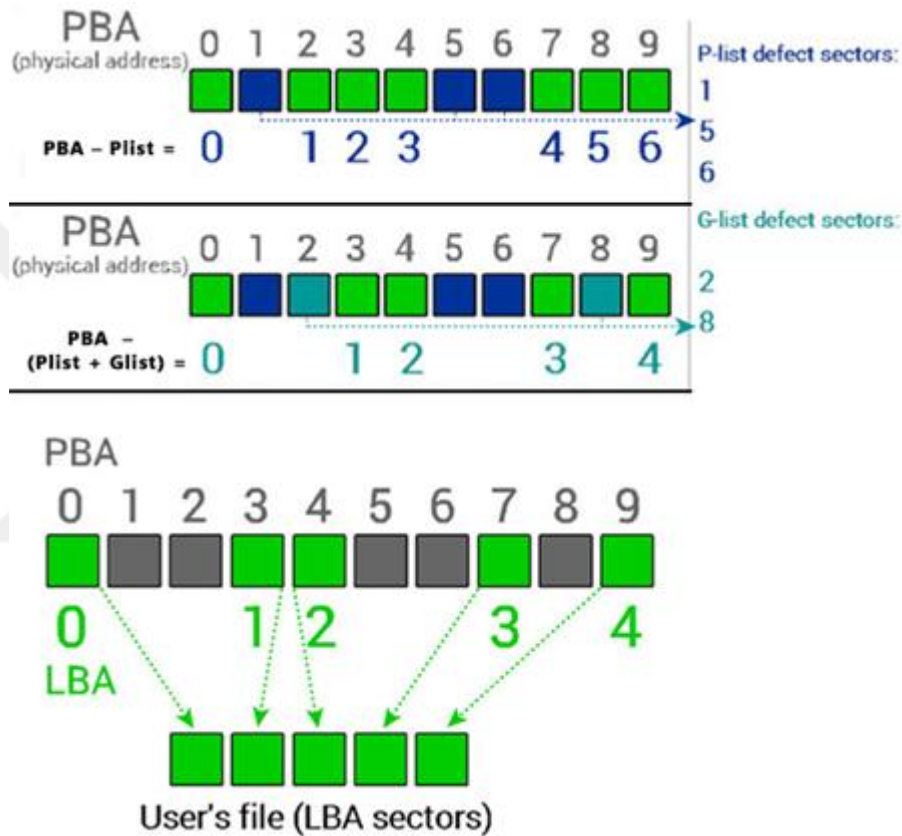
Standart İsmi	Maximum Veri Transfer Hızı
PIO 0	3.3 MB/s
PIO 1	5.2 MB/s
PIO 2	8.3 MB/s
PIO 3	11.1 MB/s
PIO 4	16.6 MB/s
UDMA mode 1	25 MB/s
UDMA mode 2 (UDMA/33)	33.3 MB/s
UDMA mode 3	44.4 MB/s
UDMA mode 4 (UDMA/66)	66.6 MB/s
UDMA mode 5 (UDMA/100)	100 MB/s
UDMA mode 6 (UDMA/133)	133 MB/s

Sabit disklerdeki veri alanları kullanıcının verilerini barındıran kullanıcı alanı (UA) ile sabit diskin donanım yazılımını (bellenim-firmware) barındıran ve kullanıcı tarafından doğrudan erişilemeyen servis alanı (SA) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sabit diskin markası, modeli, kapasitesi, translator vb. diskin çalışabilmesi için gerekli modüller ve bilgiler servis alanında bulunur.

Sabit disklerdeki plaka yüzeyleri üzerindeki sektörler üretici firmaların fabrikalarında “servo writer” veya “disk writer” olarak isimlendirilen özel cihazlar kullanılarak oluşturulmaktadır (Chen ve Tomizuka, 2011). Üretim sırasında oluşturulan bu sektörlerin sağlıklı çalışıp çalışmadığı test edilmektedir. Testler sırasında kullanıcı alanında veya servis alanında tespit edilen hatalı/arızalı sektörler veya sektör grupları üretici firmanın kendisine göre isimlendirdiği (P-list/G-list/S-list/A-list...) ve genel olarak Defect list olarak adlandırılan yapılar/listeler içerisinde tutulmaktadır. Sabit disk baskı devre kartında bulunan denetleyici/controller okuma/yazma kafalarını bu listelere göre konumlandırılarak bu arızalı sektörlerden kullanıcının etkilenmemesini sağlamış olacaklardır. P-list (Primary Defects List), üretim aşamasında üretici tarafından tespit edilen hatalı sektörlerin, G-list (Grown Defects List) ise kullanıcı tarafından kullanım esnasında kullanıcıdan bağımsız olarak denetleyici tarafından tespit edilen ve sabit diskin kullanım ömrü boyunca genişleyen sektörlerin listesidir. Bu listeler okuma/yazma sırasında görmezden gelinecek sektörlerin fiziksel konumların listesini barındırmaktadır. Kullanıcılar bu listelere diskin SMART bilgisinden ulaşabilmektedir. Disk üreticisi tarafından diskin kapasitesinden bağımsız olarak G-list’e eklenecek sektörler için belirli sayıda yedek sektör ayrılmaktadır. Bu belirli sayıdaki sektör adedince her G-list değeri için bir yedek sektör atacaktır.

Platter üzerindeki sektörlerin fiziksel koordinatlarının doğrudan adreslenmesine PBA (Physical block addressing) denmektedir. Diskin okuma/yazma işlemleri sırasında

hatalı sektörleri atlayarak sağlıklı sektörleri kullanması için uygulanan mantıksal adresleme yöntemine LBA (Logical block address) denmektedir. Fiziksel adresi mantıksal adrese veya tersine çeviren özel bir mikro programa (modül) da dönüştürücü (translator) denilmektedir. Bu işlemlerin PBA'dan Defect listlerinin çıkartılmasıyla/ atlanmasıyla gerçekleştirilmekte ve Şekil 3.21'de gösterilmiştir. Bu atlama/ çıkartılma işlemlerinin sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi için yazılım dillerindeki dizi yapısındaki indis değerinin düşünülmesi, yapılan işlemin daha kolay anlaşılmasını sağlayacaktır.



Şekil 3.21. PBA'dan LBA'ya erişim süreci (ACELab Europe s.r.o., 2020)

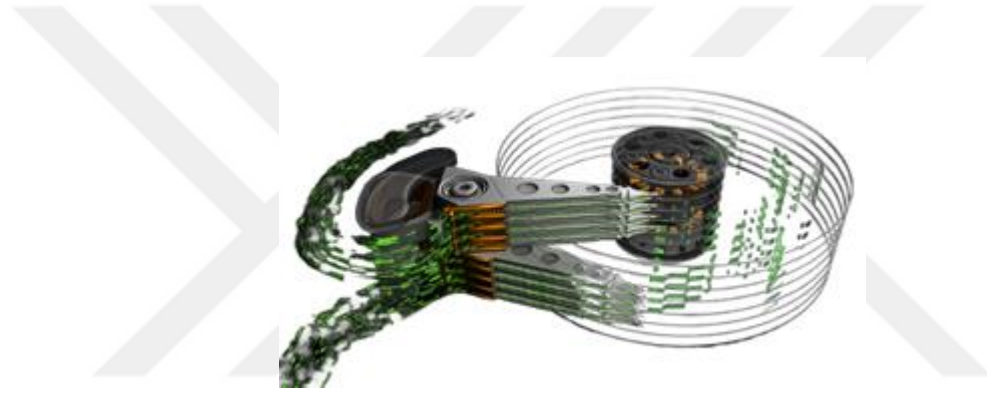
Seri ATA, anakart ile depolama birimleri arasında veri aktarım arayüzüdür. ATA teknolojisinin üzerine bina edilerek geliştirilmiştir. İsim karışıklığının önüne geçmek için ATA ismi Paralel ATA olarak değiştirilmiştir. Günlük hayata IDE olarak da bilinmektedir. IDE eski işletim sistemleriyle en iyi uyumluluğu sağlayan veri aktarım arayüzüdür. AHCI ise gelişmiş disk iletişim standartlarından/ protokollerinden biridir.

Günümüzde 2.5" ve 3.5" ebatındaki diskler yaygın olarak kullanılmaktadır. 2.5" ebatındaki diskler için 5V'luk ve 3.5" ebatındaki disklerin çalışması için de 12V'luk

elektrik akımı gereklidir. Bağlantı arayüzlerine göre sabit diskler USB, Pata (IDE), Sata, SAS, SCSI olarak sıralanabilir. Örnek bağlantı arayüzleri Şekil 3.60'den sunulmuştur.

Sabit disklerin mekanik işlemlerden kaynaklı yavaşlığın ortadan kaldırılması için üretici firmalar karma diskler (SSHD - OptiNAND) geliştirmişlerdir. Sabit disklerden temel farkı, normal kapasitelerinin yanında ön bellek olarak kullanılacak olan 8/64 GB gibi belirli bir kapasiteye sahip Nand bellek kullanmalarındadır. Böylelikle önyükleme, başlatma ve yükleme sırasında SSD'ye yakın performans sağlanması amaçlanmaktadır

Ayrıca yine disk üzerindeki verilere daha hızlı erişilmesini sağlamak için Şekil 3.22'den de görüleceği gibi üreticiler tarafından birbirlerinden bağımsız olarak hareket eden çoklu çalıştırıcılı/okuma-yazma kafa bloğu (multi-actuator) diskler de üretilmektedir.



Şekil 3.22. Çoklu okuma/yazma kafaları işleticisi/çalıştırıcısı (Feist, 2019)

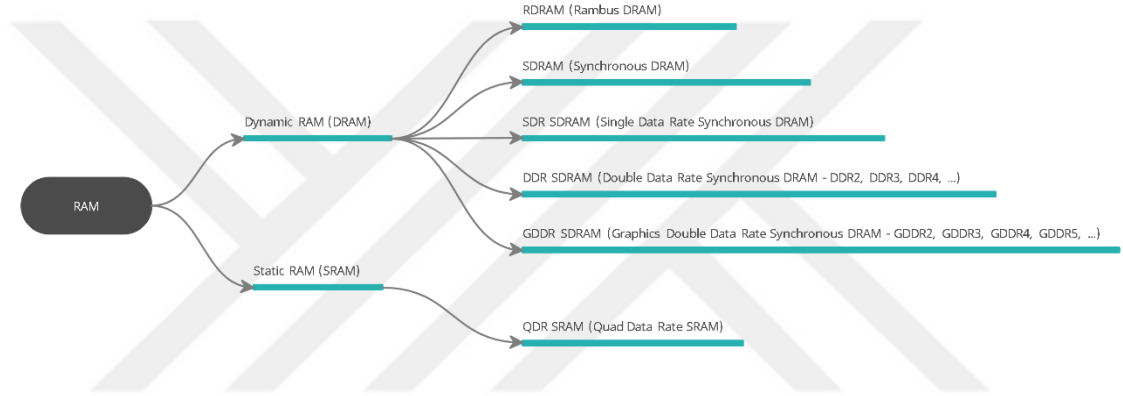
3.1.3. Yarı iletken depolama birimleri

Depolama birimi olarak yarı iletken türdeki veri barındırma birimleri temelde RAM (random-access memory - rastgele erişimli bellek) ve ROM (read-only memory - sadece okunabilir bellek) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Guo ve Slay, 2010).

RAM: Pratik ilk formu Williams-Kilburn tüpü olarak isimlendirilen katot ışını tüplerinin bilgi depolama aygıtı olarak kullanımı konusundaki çalışmalarda görülmektedir (Micheloni ve ark., 2010). Sadece güç varken (geçici) veri depolayabilen bellektir. Veriler elektriksel olarak transistörlerde tutulur (kaydedilir), elektrik akımı olmadığında transistörler veri tutamayacağı için veriler kaybolur. Kullanılmakta olan veriler RAM'de depolanır, böylece bir programdan veya sayfadan diğerine her geçildiğinde gerekli olan veriye anında ulaşılmış olur. Ram, durağan (Static - Sram) QDR

SRAM (Quad Data Rate – dörtlü veri transferli – SRAM) gibi alt ram türlerine ayrılırken, değişken (Dynamic - Dram) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca n bellekler (cache) SRAM’lerden oluşmuş bir bellek topluluğudur. Dinamik (değişen) RAM de kendi içerisinde beşe ayrılmaktadır (şekil 3.23):

- RDRAM (rambus dram, rambus firması tarafından üretilmiştir),
- SDRAM (synchronous dram – eř zamanlı – dram),
- Sdr sdram(synchronous dynamic random - eř zamanlı dinamik – sdram),
- Ddr sdram (double data rate – ift veri transferli – sdram),
- Gddr sdram (graphics – grafik – ddr sdram).

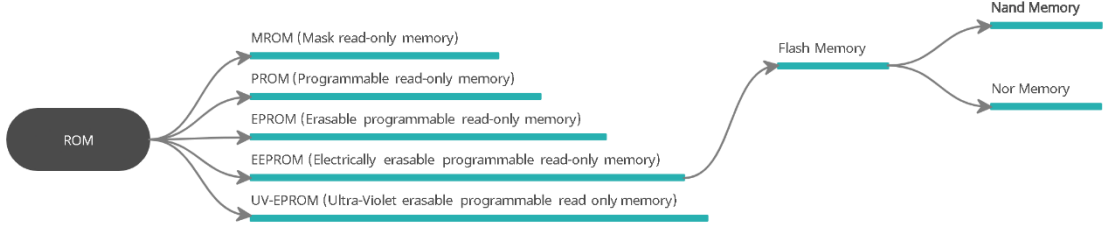


şekil 3.23. Ram türleri

ROM: İlk olarak 1948'de ENIAC'ın depolanmış program makinesi olarak kullanılmıştır (Rope, 2007). Kalıcı bellek anlamına gelir. Bu, bilgilerin silininceye kadar kalıcı olarak çipte depolandığı anlamına gelir. Rom bellek, verileri depolamak (kaydetmek) için bir elektrik akımına bağlı değildir, bunun yerine veriler ikili kod kullanılarak tek tek hücrelere yazılır. Kalıcı bellek, yazılımın ilk açılış bölümü veya yazıcınızı çalıştıran bellek yönergeleri gibi bilgisayarın değişmeyen parçaları için kullanılır. Bilgisayarı kapatmanın ROM üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Kalıcı bellek, kullanıcılar tarafından değiştirilemez. Rom da kendi içerisinde beşe ayrılmaktadır (şekil 3.24).

- Mrom (Programmable - Programlanabilir - rom),
- Prom (Programmable - Programlanabilir - rom),
- Eprom (Erasable – Silinebilir - prom),
- Eeprom (Electrically – Elektriksel - eeprom),
- Uv-eprom (Ultraviolet - ultraviyole ışık - eeprom).

Eeprom da kendi içerisinde Flash bellek (Flash Memory) ve Elektriksel olarak değiştirilebilir salt okunur bellek (Electrically alterable read-only memory - EAROM) olmak üzere alt kategorilere ayrılmaktadır.



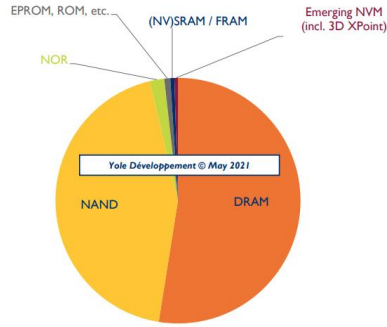
Şekil 3.24. Rom türleri

Ram ve Rom'un temel farkları Ram'lerin yazılıp/silinebilen belleği varken, ROM'ların sadece okunabilir belleğe sahip olmasıdır. Ayrıca bir diğer fark da Ram'lerin elektrik akımı (güç) varken geçici veri barındırırken, Rom'ların gücün olmasına bağlı olmaksızın verileri kalıcı olarak saklayan bir yapıya sahip olmasıdır.

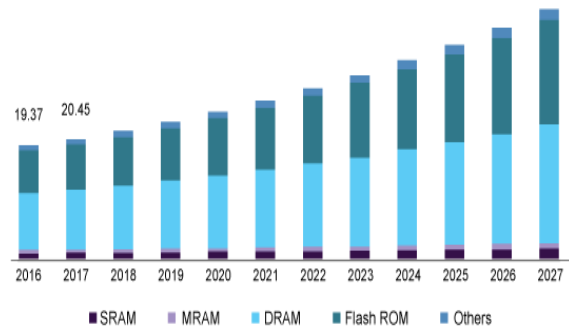
Flash bellek kullanan cihazlar

Daha önce açıklandığı üzere Flash bellek Eeprom'un bir alt türüdür. Dram'ın aksine flash bellek içerisindeki verileri kaybetmeyen (non-volatile) ve sürekli yazılarak (programlanabilen) silinebilen kalıcı bir bellek çeşididir. Kalıcı bellekler elektrik akımı olmadan da tutabilmektedirler. Örneğin, bir bilgisayar kapatıldığında, bilgisayarın DRAM belleğindeki tüm veriler kaybolurken, dijital kameradan çıkartılan flash bellek türündeki depolama aygıtındaki tüm veriler (resimler, videolar) güç kesilse bile saklanmaya devam edecektir. Yapısı bakımından ram belleklere benzeyen flash belleklerin kullanımı ise sabit disklerdeki gibi mekanik bir yapıda veri depolamaması ve okuma/yazma işlemini yapmamasından dolayı veriye erişim için beklenmesi gereken süre oldukça düşüktür. Flash belleklerin yapısı elektronik olup veri yazma işlemi ram modüllerinin kullandığı yöntemle gerçekleşir. Ram bellekler geçici (volatile) olduğu için yazılan veriler güç kesintisinde silinmektedir. Bu da Ram ve flash bellekleri birbirinden ayıran en temel özelliktir. Her iki bellek türünde de elektronik veri yazma/okuma teknolojisi kullanılmaktadır. Elektronik veri yazma/okuma teknolojisi, verinin tutulacağı

birimdeki en küçük veri alanını elektronik sinyaller ile bilişim sisteminin yorumlayabileceği şekilde işaretlenerek 1 ve 0'lar dizisi meydana gelmesini sağlar. 0 ile 1'lerin yorumlanmasında mantıksal kapılar (Logic Gate) kullanılmaktadır ve yedi farklı mantıksal kapı bulunmaktadır (Kaloğlu, 2013). Bunlar AND, NAND, NOR, NOT, OR, XNOR ve XOR kapılarıdır. Flash bellek temelli veri saklama birimlerinde NAND ve NOR mantıksal kapıları kullanılmaktadır. Bu sebeple Flash bellek teknolojisi kullanıldığı mantıksal kapı özelliklerine göre NOR flash bellek ve NAND tipi flash bellekler olmak üzere iki kategoride incelenir. NOR flash bellekler, NAND belleklerden daha hızlı okuma performansı sunarken, yazma ve silme işlemlerinde oldukça yavaştır. NOR Bellekler SRAM arayüzü taşımaktadır ve yonganın dâhilindeki her bir byte'a tek tek erişim sağlayabilmektedir. NOR tipi flash bellekler, NAND belleklere göre daha uzun kullanım ömürleri ile okuma işlemlerinin ağırlıkta olduğu endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. NAND bellekler bit başına üretim maliyetlerini düşürmesi ve yonga kapasitesini artırması gibi avantajlar sayesinde hdd gibi manyetik depolama cihazlarına alternatif olarak piyasada geniş yer bulmuştur. NAND belleklerin çalışma mantığı NOR belleklere benzer olmasına rağmen veri yazılması ve silinmesi hücre temelinde gerçekleşmez. Belleğe veri yazılması için birden çok hücrenin bir araya gelmesiyle oluşan ve "blok" olarak isimlendirilen yapılar kullanılmaktadır (Kaloğlu, 2013). Az bir elektrik akımı ile bile NAND flash belleklerdeki tüm verinin silinmesi mümkündür. Ancak NAND bellek maliyetlerinin NOR belleklere oranla oldukça düşük olması büyük avantaj sağlasa da rastgele erişim yeteneği ile NOR bellekler daha üstün performans sağlamaktadır. NAND flash bellekler istenen verilere sadece blok halinde ulaşabilir, NOR flash bellekler ise istenilen verinin tek bir byte'ına bile erişip işleyebilmektedirler (Michelson ve ark., 2010). Şekil 3.25 ve 3.26'da görüleceği üzere veriye yüksek hızlı erişim, kalıcı depolama, küçük ebatlara sahip olması, birçok cihaza uygun olarak kullanılabilmesi, fiziksel olarak çevresel etmenlere daha dayanıklı olması ve veri güvenliği sağlaması gibi nedenlerden dolayı günümüzde çok yüksek kullanım oranları sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.25. Bellek türlerinin teknolojiye göre dağılımları (Yole Développement, 2021)



Şekil 3.26. Ram belleklerin senelere göre kullanım durumları (Grand View Research, 2022)

Flash bellek (Flash Memory), savaş uçaklarından çocuk oyuncaklarına, cep telefonlarından uydulara kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Flash bellek bu cihazların kayıt birimine verilen addır. Flash belleklerin kullanıldığı cihazlardan bazıları aşağıdaki listede sunulmuştur.

- Kişisel bilgisayarlar
- Kara, hava ve deniz araçları
- USB flash bellekler
- Cep telefonları
- Hafıza kartları
- Tabletler
- SSD'ler
- Dijital kameralar
- eMMC
- Dizüstü bilgisayarlar
- Oyun konsolları
- Elektronik müzik aletleri
- Televizyon set üstü kutuları
- MP3 çalarlar
- Oyuncaklar
- GPS

Flash bellekler, güç kesintisi durumlarında güvenli veri saklama imkânı sunduğundan dolayı aşağıdaki gibi birçok endüstriyel uygulamada kullanılır.

- Askeri sistemler
- Satış noktası cihazları
- Gömülü bilgisayarlar
- Ağ ve iletişim ürünleri
- Kablosuz iletişim cihazları
- Güvenlik sistemleri/ IP kameralar
- El tipi tarayıcılar gibi perakende yönetim ürünleri

Flash bellekler, bellek hücrelerine erişim bakımından rastgele erişimli (NAND) ve sıralı erişimli (NOR) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bir tür kayan kapılı bellek olan flash bellek (floating-gate memory) 1984 yılında Toshiba firmasında çalışan Fujio Masuoka tarafından EEPROM teknolojisine dayanılarak icat edilmiştir (Masuoka ve

Iizuka, 1981). Masuoka'nın icadına dayanarak Intel, 1988'de bir PC'nin bios ve çeşitli tüketici ürünleri için bellenim (firmware) dâhil olmak üzere depolama programı kodlarına kalıcı bir depolama ortamı görerek NOR Flash belleği StrataFlash ismiyle ticarileştirmiştir.

NOR Flash, 1990'larda ilk flash bellek kartlarının ve kalıcı katı hal sürücülerinin de temelidir (Micheloni ve ark., 2010). Flash bellek adı, veri silinme işlemi hızının, bir kameranın flash patlamasını anımsattığını söyleyen Masuoka'nın bir iş arkadaşı olan Shoji Ariizumi tarafından önerilmiştir. Ayrıca günlük hayatta bilgisayarların bios belleğini güncellemek için kullanılan “Flashlamak” kavramı da bellek türünün “flash” olmasından dolayı kullanılmaktadır. NOR flash bellek, genellikle cep telefonları, bilimsel aletler ve tıbbi cihazlar gibi düşük kapasiteli ve yüksek güvenilirlik gerektiren uygulamalar için kullanılır.

Nand flash bellek ise dijital kameralar, USB flash bellek ve diğer SD kart uyumlu cihazlar gibi hızlı okuma işlemleri gerektirmeyen yüksek bellek kapasiteli cihazlar için kullanılır. Hem NAND hem de NOR flash bellek kullanılan bazı cihazlar da vardır: akıllı telefon ve tabletler gibi. Bunlarda, işletim sisteminin hızlı başlatılması için NOR kullanıcı verilerinin depolanması için ise NAND bellekler kullanılmaktadır. Örneğin Samsung marka SM-B310E Guru Music 2 model cep telefonunun (Şekil 3.27) fiziksel olarak kopyası elde edildiği durumda dosya ismin NOR ile başladığı (Şekil 3.28) görülecektir.



Şekil 3.27. Nor bellek kullanan cep telefonu

Ad	Tür	Boyut
NOR(0x30000000-0x30800000).bin	Binary Data File	8.192 KB
Samsung GSM_GT-E1205Y Keystone.ufd	UFD Dosyası	1 KB

Ad	Tür	Boyut
NOR(0x30000000-0x30800000).bin	BIN Dosyası	8.192 KB
Samsung GSM_SM-B310E Guru Music 2.ufd	UFD Dosyası	1 KB

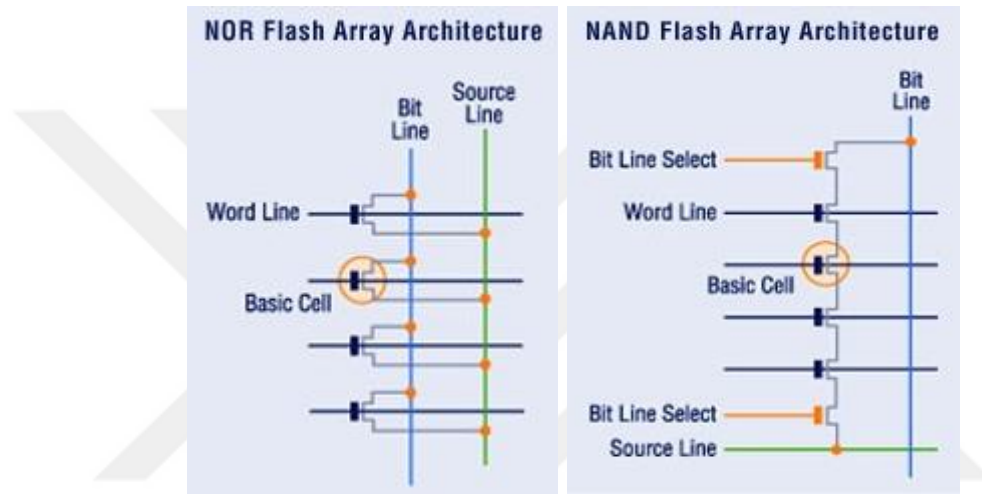
Şekil 3.28. Nor bellek kullanan iki farklı cep telefonun fiziksel kopyaları

NAND ve NOR belleklerin birbirlerinden temel farklılıkları Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

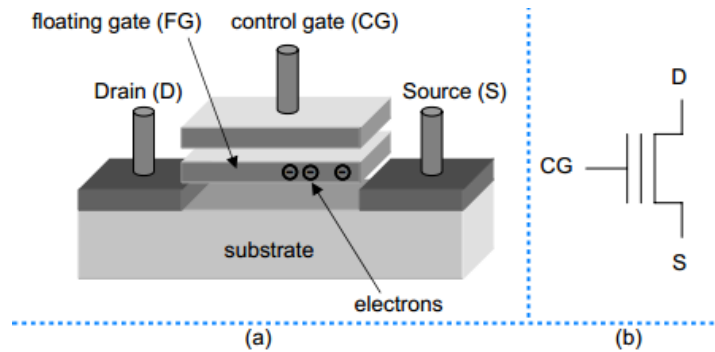
Çizelge 3.3 NOR ve NAND belleklerin birbirlerinden farkları (Micheloni ve ark., 2010)

NOR:	NAND:
Daha pahalıdır.	Daha ucuzdur.
Veri okunması daha hızlıdır.	Veri okunması daha yavaştır.
Veri hücre boyutu daha büyüktür.	Veri hücre boyutu daha küçüktür.
Daha düşük bellek kapasitesine sahiptir.	Daha yüksek bellek kapasitesine sahiptir.
İlk çalışmasında daha fazla güç gereklidir.	İlk çalışmasında daha az güç gereklidir.
Yeni verileri silmek ve yazmak daha yavaştır.	Yeni verileri silmek ve yazmak daha hızlıdır.

NOR ve NAND mimarisinin karşılaştırılması Şekil 3.29’de yüzer kapı bellek hücresi (FG) ile şematik sembolü Şekil 3.30’de sunulmuştur.



Şekil 3.29. NOR ve NAND mimarisinin karşılaştırılması (M-Systems Inc, 2003)



Şekil 3.30. Yüzer kapı bellek hücresi (a) ve şematik sembolü (b) (Micheloni ve ark., 2010)

Flash belleklerin sabit disklere göre avantaj ve dezavantajlarına göre kıyaslaması yapıldığında Çizelge 3.4’teki sonuçlar elde edilecektir.

Çizelge 3.4. Flash belleğin sabit disklere göre avantajları dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Sabit disklerden daha hızlıdır. Daha dayanıklıdır ve güvenilirdir.	Ağır yazma yükleri sürücüyü bozar. Üretim maliyetleri sabit disklerden daha fazladır.
Daha hafiftir ve daha küçük yer kaplar.	Tamamen dolu olan (dense) veri hücreler komşu hücreleri olumsuz etkiler.
Daha az elektrik tüketir ve daha az ısı üretir	Hücre başına daha fazla bit depolandığından işlemler yavaştır.

Ayrıca flash belleklerin veri yazma prensibi Şekil 3.31’de görülebileceği üzere veri yazma işlemi USB arayüzü üzerinden denetleyiciye oradan da flash belleğe doğrudur. Okuma işlemi ise bunun tersidir.



Şekil 3.31. Flash belleklerde veri okuma ve yazma

Flash bellek kullanan örnek cihazlar Şekil 3.32’te sunulmuştur.



Şekil 3.32. Hafıza birimi olarak flash bellek kullanan cihazlar (Rusolut Sp. z o.o., 2022)

3.1.3.1. NOR flash bellek

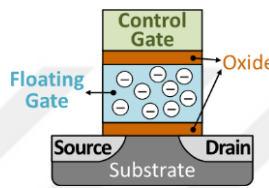
Veri saklamasını yapacak her hücrenin bir ucu doğrudan topraklamaya ve diğer ucu da doğrudan bir bit çizgisine bağlanır. Bu düzeneğe göre mantıksal NOR kapısı gibi davrandığından dolayı "NOR flash" denmektedir. Kelime çizgilerinden (word lines) biri yükseldiğinde, karşılık gelen depolama transistörü çıkış bit çizgisini (bit line) aşağı çekmek için hareket eder. NOR flash, kalıcı bellek gerektiren gömülü cihaz uygulamalarında tercih edilmektedir. NOR cihazlarının karakteristik özelliği olan okuma gecikmesinin düşük olması dolayı hem doğrudan kod yürütülmesine hem de veri depolanmasına izin vermektedir (Zitlaw, 2011). NOR flash belleğin silikon üzerindeki bağlantı yapısı Çizelge 3.3’de sunulmuştur. NOR flashta okuma, adres ve veri yolu doğru şekilde planlandığında rasgele erişimli bellekten (RAM) okumaya benzer. Bu nedenle, çoğu mikroişlemci NOR flash belleği yerinde yürütme (XIP – eXecute In Place) belleği olarak kullanabilir. Bu da NOR flashında depolanan programların RAM’e kopyalanmasına gerek kalmadan doğrudan NOR flashından yürütülebileceği anlamına gelir. NOR flashı okumaya benzer rasgele erişimli bir şekilde programlanabilir. Programlama bitleri mantıksal olandan sıfıra değiştirir. Zaten sıfır olan bitler değişmeden kalır. Silme her seferinde bir blok olmalı ve silinen bloktaki tüm bitleri bire sıfırlar (Chang ve ark., 2010; Micheloni ve ark., 2010).

3.1.3.2. NAND flash bellek

NAND bellekler elektrikle silinebilen ve yeniden programlanabilen elektronik bir katı hal depolama (EEPROM) birimidir. Yüzen kapı (floating-gate) transistörleri kullanır, mantıksal NAND kapısı gibi bağlanır. Birkaç transistör seri olarak bağlanır ve bit çizgi dizisi ile tüm kelime çizgileri yükseldiğinde (transistörlerin üstüne) aşağı iner (Micheloni ve ark., 2010). Bu çizge dizeleri daha sonra, bazı ek transistörler yoluyla, NOR flashında tekli transistörlerin bağlandığı gibi NOR tarzı bir bit çizgi dizisine bağlanır. NOR flashla karşılaştırıldığında, tek transistörlerin seri bağlantılı gruplarla değiştirilmesi ekstra bir adresleme seviyesi ekler. Oysa NOR flash hafızayı sayfa ve kelimeye göre adreslerken NAND flash bunu sayfa, kelime ve bit olarak adresleyebilir. Bit düzeyinde adresleme, her seferinde yalnızca bir bite erişen bit seri uygulamalarına uygundur. Yerinden yürütme (XIP) uygulamaları, bir kelimedeki her bitin aynı anda erişilmesini gerektirir. Bu, kelime

düzeyinde adresleme gerektirir. Her durumda, NOR veya NAND flaş ile hem bit hem de kelime adresleme modları mümkündür.

NAND flash bellek, verileri bir dizi flash hücre (Şekil 3.33) içinde depolar. Bir hücre, transistörün kayan kapısının gösterildiği gibi bir miktar yük depolayabildiği tek bir kayan kapılı transistörden oluşur. Kayan kapı içinde depolanan (yani, yakalanan) yük, transistörün açıldığı eşik voltajını belirler. Oksit katmanları, depolanan yükün yüzer geçitten sızmasını önlemek için yüzer geçidin üstüne ve altına yerleştirilir. Bir flash hücresini belirli bir eşik voltajına programlamak için transistörün kontrol kapısına yüksek bir voltaj uygulanır.



Şekil 3.33. Kayan kapılı bir transistörden oluşan flash bellek hücresi (Fukami ve ark., 2017)

Hafıza birimi olarak flash bellek kullanan veri depolama birimleri (USB flash bellek, hafıza kartları, ssd) denetleyici (controller) ve flash bellek olmak üzere temelde iki adet elektronik devre elemanından oluşmaktadır. Flash bellek, verilerin saklanacağı ortamdır. Denetleyici ise verinin hangi adrese yazılacağına veya benzer şekilde hangi adresten okunacağına karar verir (Özdemir ve Gülcü, 2021).

Flash bellek hücreleri başına saklanabilen bit adetine/ sayısına göre; tek seviyeli hücre (SLC), çok seviyeli hücre (MLC), üç seviyeli hücre (TLC), dört seviyeli hücre (QLC) olarak isimlendirilmektedir. Üretim maliyeti olarak en ucuzu TLC olduğu için diğerlerine nazaran çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu NAND hücreleri arasındaki ana farklar; maliyet, kapasite ve dayanıklılıktır. Dayanıklılık, bir flash hücresinin ömrünü tamamlamaya başlamadan önce yapabileceği yazma-silme (Program/Erase cycles) sayısı ile belirlenmektedir. P/E döngüsü, bir hücrenin silinmesi ve yazılması süreçleridir. Nand bellek hücresi ne kadar P/E döngüsü gerçekleştirebilirse, cihazın dayanıklılığı/ömrü o kadar fazla olacaktır. Her bir flash bellek hücresinin sınırlı sayıda yazma/silme döngüsünü sağlayabilecek şekilde üretilmektedir. Bu sınırdan sonra ilgili hücre kullanılamaz hale gelir (Boukhobza ve Olivier, 2017). Çizelge 3.5'ten de görüleceği üzere SLC türü hücreler daha hızlı, daha dayanıklı ve daha az hata eğilimi gösteren bellekler olmasına karşın hücre başına maliyet yükselmektedir Ayrıca PLC

(Penta Level Cell) olarak adlandırılan beş seviyeli bir hücre hakkında Intel ve Toshiba'dan tarafından bazı ön duyurular yapıldı; ancak bu teknolojinin pazara ulaşip ulaşmayacağı ve ne zaman ulaşacağı ve ulaştığında hangi uygulama alanlarına hitap edebileceği belirsizdir (Spectra Logic Corporation, 2021).

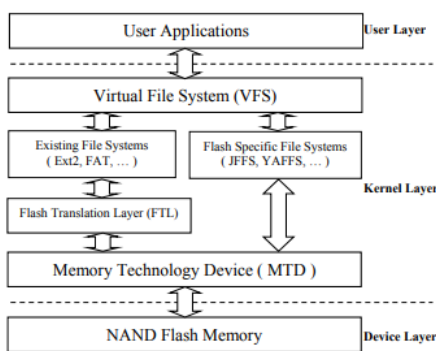
Çizelge 3.5. Flash bellek hücre türleri (Kingston Technology Company, 2021).

Hücre Seviyesi	Hücredeki Bit Adedi	Hücresinin Yazılıp / Silinme Sayıları	Kapasite/ Veri Yoğunluğu	Maliyet/Hız
SLC – Single-Level Cell	1	~100.000	↓	↑
MLC – Multi Level Cell	2	~10.000		
TLC – Triple Layer Cell	3	~3.000		
QLC – Quad Level Cell	4	~1.000		

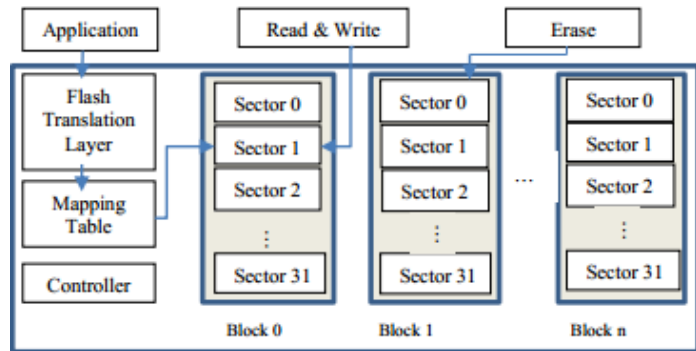
NAND üreticileri hücreleri daha küçük hale getirmek ve kapasiteyi artırmak için NAND bellek hücrelerini bir birine daha çok yaklaştırmaya (2D) çalışmaktadır. Bir noktaya kadar doğru çalışsa da hücrelerin birbirine çok yakın olması veri güvenilirliğini kaybetmesine de yol açar. Kapasiteyi arttırırken bu sorunu çözmek için TLC hücre seviyesi ile bellek hücrelerinin üst üste (dikey – 3D) sıralanması önerilmiştir. Her ne kadar bellek yoğunluğu fazla olmuş olsa da büyük fiyat artışları olmadan daha yüksek veri saklama kapasitelerine olanak tanımış olunur.

Flash bellek dönüştürme katmanı

Şekil 3.34 – 3.35’de görüleceği üzere FTL (Flash Translation Layer); Hafıza kartları, SSD’ler, USB flash bellekler gibi flash tabanlı depolama kullanan cihazların denetleyicisinde bulunan ve işletim sistemi ile bellek arasında köprü işlevi sağlayan bir donanım/yazılım katmanıdır (Boukhobza ve Olivier, 2017).



Şekil 3.34. NAND flash bellek mimarisi (Yan ve Yao, 2014)



Şekil 3.35. NAND flash bellek mimarisi (Tran ve Park, 2020)

Daha önce bahsedildiği şekilde; flash bellekler, günlük yaşamın hemen her yerinde kullanılan düşük güç tüketen, geçici olmayan (kalıcı), fiziki etkiye dirençli ve en önemlisi mobil bellek türleridir. Bu avantajlarının yanı sıra, flash belleğin doğası gereği bazı dezavantajları da vardır. Bu sorunlardan bazıları şunlardır;

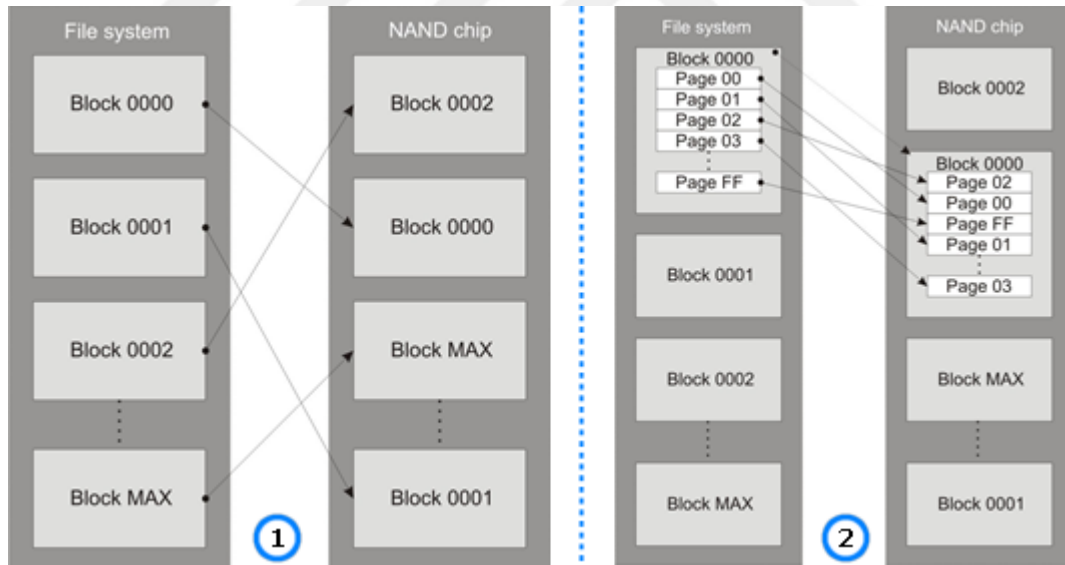
Aşınma dengelemesi (Wear leveling-WL), Daha önce bahsedildiği üzere NAND hücrelerinin belirli ömürleri vardır. Tüm flash bellek hücrelerinin mümkün olduğunca uzun süre kullanılabilir tutulması amaçlanmaktadır. Bu işlem için kullanılan algoritmalar, belirli bir blokta gerçekleştirilen silme işlemlerinin sayısına dayanır. Bu sayı, blok başına ortalama silme işlemi sayısından büyükse, bloğun sıcak, aksi halde soğuk olduğu söylenmektedir. Kullanılan algoritmalar sıcak ve soğuk bloklar arasındaki farkı mümkün olduğunca küçük tutmayı amaçlar. Bu işlem maliyetli olduğundan dolayı sık çalıştırılmaz. Aşınma dengeleme ve performans arasında bir değiş tokuş vardır.(Boukhobza ve Olivier, 2017) Bu hücrelerin ömrünü arttırmak için tasarlanmıştır ve WL, çip içindeki bellek hücrelerinin (bloklarının) kullanımı bakımından blok numarasına bakılmaksızın ortalama bir kullanım sayısı belirlenmesini sağlar. Bellek hücrelerinde kullanılan temel WL algoritmaları şunlardır: Dinamik WL, Statik WL, FAT Filtresi (Rusolut Sp. z o.o., 2014b).

Adres eşleme sorunu (Address mapping issue) ve **Yazmadan önce silme kısıtlaması** (Erase-before-write constraint): Bir flash aygıtında yazmadan önce silme kısıtlaması vardır. Yeni veriler geldiğinde, flash çeviri katmanı (FTL) bunun için boş bir konum bulmalıdır. Boş alan kalmamışsa, FTL çöp toplayıcıyı çağırır ve bazı blokları siler. Bu sırada bazı bloklar silinir, bazıları yazılır ve bazıları başka yerlere taşınır. FTL, tüm bu işlemlerin adres bilgilerini hafızada doğru bir şekilde tutmak zorundadır. Bu nedenle adres çevirisi ve adres eşleme FTL tasarımı için çok önemlidir. Flash Çeviri Katmanında sayfa düzeyinde, blok düzeyinde ve karma düzeyde adres eşlemeleri olmak üzere üç tür adres eşleme vardır (Ayar, 2010). Örnek verilecek olunursa; bir kumsalda giderek elinizde ortası boş bir tuvali kumlara koyduğunuz ve buraya bir resim çizdiğinizi düşünelim. Daha sonra yeni bir resim çizmek istediğinizde daha önce çizmiş olduğunuz resmini tamamen temizledikten sonra yeni resim çizebilirsiniz. Nand bellekler de aynı şekilde yazılacak olan veriyi kaydetmeden önce ilgili hücrelerin temizlenmesi gerekmektedir.

Güç kesintisinde kurtarma (Power-off recovery): Donanıma giden güç aniden kesilirse bellek üzerindeki tüm işlemler durur. Bu da flash bellekte istenmeyen hataların ortaya çıkartır. Sayfa eşleme (page mapping) FTL'sinde eşleme tablosu (mapping table)

değiştirildiğinde, mevcut veriler güncellenir veya flash bellekten silinir. Mevcut veriler güncellenirse flash bellek üzerine direkt olarak yazılamamasından dolayı veriler başka bir adrese yazmalıdır. Buna göre eşleme tablosu da değiştirilen adresi yansıtacak şekilde değiştirilmelidir, değiştirilmezse güncel verilere erişilemez. Bu sorunu çözmek için FTL, "flush" adı verilen bir veri yedekleme işlemi gerçekleştirir.

Blok haritalama (Block mapping), tersine veri analizi açısından en önemli FTL işlevidir, çünkü bu bölüm, NAND çipinin fiziksel sayfalarına/bloklarına mantıksal sektörlerin tahsis edilmesinden sorumludur. Her denetleyici farklı dönüşüm şemaları kullansa da genel olarak; dönüşüm mekanizmasının mantıksal/sanal blokların, fiziksel olanlara dönüştürülmesi ve sanal sayfaların fiziksele dönüştürülmesi olduğu söylenebilir. Denetleyicilerin çoğu, yalnızca blok dönüşümünü kullanır (sayfa dönüşümü blok içerisinde doğrusaldır), bazıları ise blok ve sayfa dönüşümünü kullanır (Rusolut Sp. z o.o., 2014b). Şekil 3.36'de Doğrusal olan sayfa dönüşümü ile blokların doğrusal olmayan dönüşümü (1), doğrusal olmayan sayfa ile blokların doğrusal olmayan dönüşümü (2) sunulmuştur.

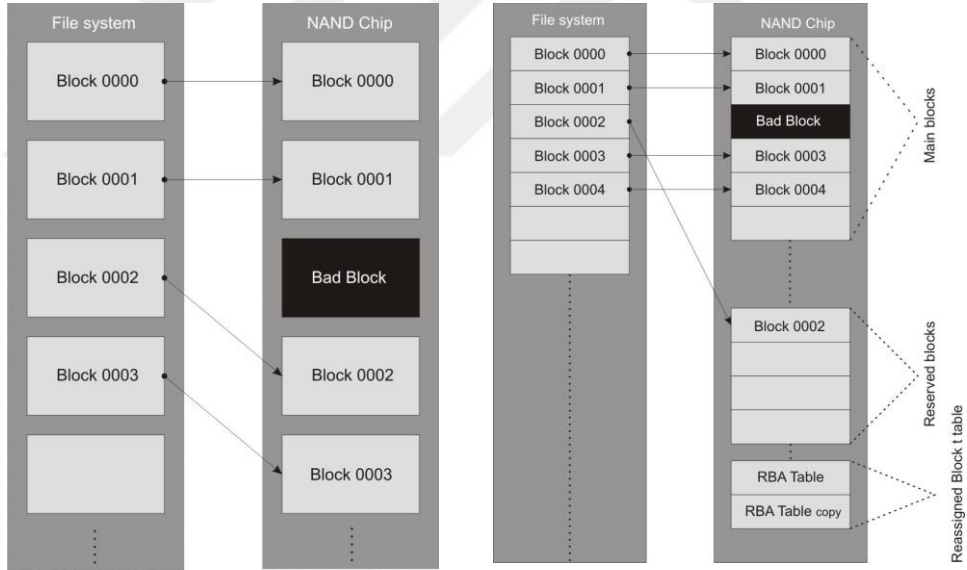


Şekil 3.36. Doğrusal olan ve olmayan sayfa dönüşümleri (Rusolut Sp. z o.o., 2014b)

Çöp toplama (Garbage collection) ve **Blok iyileştirme** (Block reclamation) algoritmaları, flash bellek bloklarındaki aktif olmayan verilerin silinmesi ve bunların yeni veri kaydı için sıraya alınması için gereklidir. Denetleyicinin bu işlevi adli bilişim incelemesi açısından önemlidir. Çünkü veriler bir flaş depolama cihazından silindiğinde, genellikle çöp olarak işaretlenir ve çipin içinde belirsiz bir zamana kadar kalır. Bu, çoğu

durumda, çalışan depolama aygıtının USB bağlantısıyla kullanılmayan dosya sistemi meta verisinin önceki sürümlerini, dosyaları veya bazı meta verileri parçalarını kurtarabileceğimiz gerçeği anlamına gelir (Rusolot Sp. z o.o., 2014b). Temizleme maliyeti ve aşınma seviyesi, çöp toplama politikasının iki temel kaygısıdır (Xu ve ark., 2012).

Hatalı blok yönetimi (Bad block management) algoritması, NAND belleğinin fiziksel bloklarını kontrol eder ve hatalı blokları tespit eder. Özellikle, silme ve yazma işlemlerinden sonra, bellek hücrelerinin veri saklama yeteneği, her sayfanın Yedek Alanında (Spare Area - SA) depolanan Hata Düzeltme Kodu (Error Correction Code - ECC) doğrulaması kullanılarak ölçülür. Blok hatası tespit edilirse, FTL bu bloğu Hatalı Blok (Bad Block) olarak işaretleyip, blok ile ilgili bilgileri SA'ya kaydeder ve verileri başka bir bloğa taşır (Rusolot Sp. z o.o., 2014b). Şekil 3.37 gösterilen ilkelerin daha iyi anlaşılması için mantıksal bloklar sırayla (doğrusal olarak) çip içine yazılmıştır. Bunlar gerçekte NAND çipinde her zaman karışıktır.



Şekil 3.37. Hatalı blok yönetimi (Rusolot Sp. z o.o., 2014b)

FTL, anlık belleklerin yukarıda bahsedilen bu dezavantajlarının azaltılması, işletim sistemi ile flash bellek arasındaki adresleme işlemlerinin yapılması, flash belleğin kullanım ömrünü mümkün olduğu kadar uzatılması ve hata bulma/düzeltilme işlemlerinin gerçekleştirilmesi için tasarlanmıştır (Ayar, 2010). Belleğin doğru bir şekilde uzun ömürlü olarak kullanımı bu dezavantajların bilinmesi ile mümkündür.

Yukarıda açıklanan sınırlamalar, flash belleğin performansını büyük ölçüde etkiler. Örneğin, Çizelge 3.6'ten görüleceği üzere flash belleğin hücre aşınma dengelemesi olmadan, normalden çok daha kısa sürede ömrünü tamamlayacaktır. Ayrıca, güç kesilmesinde kurtarma uygulanmadığında, herhangi bir güç kesintisi veri kaybına neden olacaktır.

Çizelge 3.6. Flash belleğin aşınma dengelemesi varken ve yokken ki ömrü (Ayar, 2010)

Aşınma Dengeleme (Wear Leveling)	Ömür
Yok	0.55 gün
Var	49.7 yıl

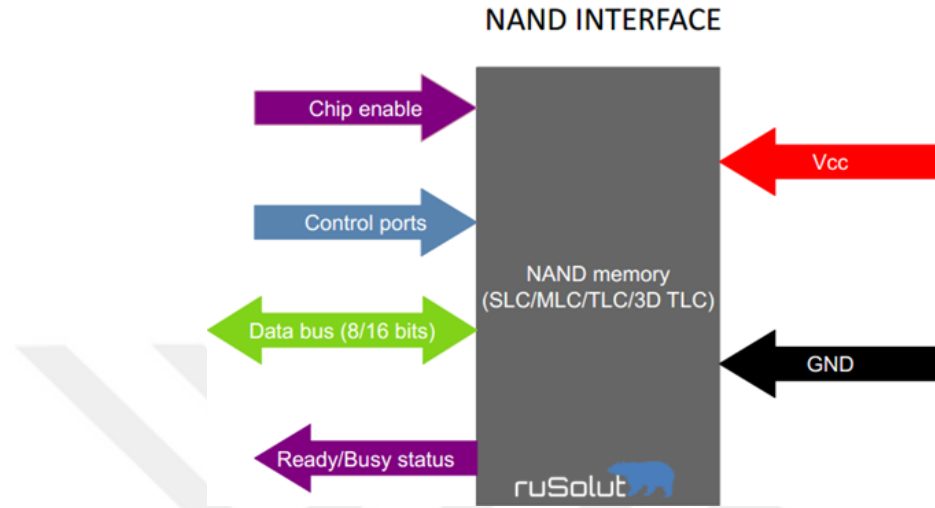
Ayrıca flash bellek kullanan cihazlar hafıza birimi ve denetleyici çipin cihaza gömülü olup olmamasına göre geleneksel/SMT ve yekpare yapıda olmak üzere iki biçimde üretilmektedir. Örnek olarak Şekil 3.48-3.56'da sunulmuştur.

Flash bellek kullanan gömülü cihazlarda sabit bir veri aktarım arayüzü mevcut değildir her birinde kendine özel veri aktarım arayüzü vardır. Ancak kullandıkları sinyaller aynıdır. Çizelge 3.7'de Nand belleklerde kullanılan sinyaller ve açıklamaları Şekil 3.38'de sinyallerin Nand belleğe giriş ve çıkış durumları sunulmuştur.

Çizelge 3.7. Nand şemalarındaki sinyaller ve açıklamaları (ONFI Workgroup, 2021)

Sinyal	Giriş/ Çıkış	Sinyal Açıklaması
ALE	G	Address Latch Enable sinyali, ana bilgisayar tarafından veri yolu döngüsünün türünü (komut, adres, veri) belirtmek için kullanılan sinyallerden biridir. Aktif olduğunda bir adrese veri yazılabilir.
CE_x	G	Chip Enable sinyali, cihazı etkinleştirir. Sinyalin aktifliği kare dalganın düşük konumda olmasıdır. Sinyal aktif değilse cihaz bekleme modundadır.
CLE	G	Command Latch Enable sinyali, ana bilgisayar tarafından veri yolu döngüsünün türünü (komut, adres, veri) belirtmek için kullanılan sinyallerden biridir. Komut kayıtcısına komut yazılırken bu sinyal düşük olmalıdır.
I/O 0-7	G/Ç	Inputs/Outputs , adres, komut ve verileri cihaza ve cihazdan almak için 8 bit genişliğinde çift yönlü bir bağlantı noktasıdır. (Data bus)
I/O 8-15	G/Ç	Nand bellek 16 bit ise ilk I/O 0-7 ilaveten I/O8-15 de kullanılır.
NC		No Connection
NU		Not Usable
R		Reserved. Gelecekte kullanılma ihtimaline karşı ayrılmıştır.
R/B_x	Ç	Ready/Busy sinyali aygıt işleminin durumunu gösterir. Düşük olduğunda, yazma, silme veya okuma (LUN) işleminin devam ettiğini gösterir. İşlem tamamlandığında yüksek duruma döner.
RE	G	Read Enable sinyali cihazdan seri veri çıkışını kontrol eder. Etkinken (düşük) cihazdan veri çıkışı olur.
VCC	G	Güç/ Power.
VDD	G	Güç/ Power.
GND	G	Toprak/ Ground .
VSS	G	Toprak/ Ground .

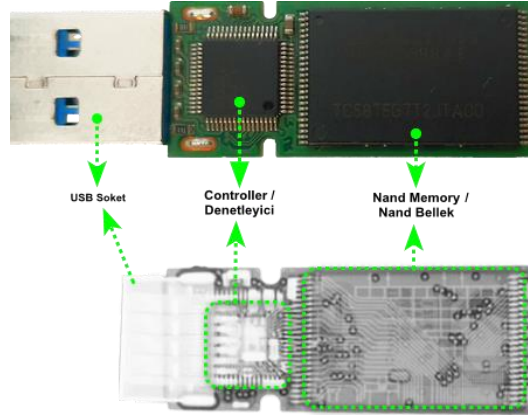
VSP		Vendor Specific, sinyalinin işlevi NAND üreticisi tarafından tanımlanır ve belirtilir.
WE	G	Write Enable sinyali, komutların, adreslerin ve giriş verilerinin yakalanmasını kontrol eder.
WP	G	Write Protect sinyali, belleğe yazma ve silme işlemlerini devre dışı bırakır. Genel olarak VCC'ye bağlanması önerilir, ancak bağlantı noktası da bağlanabilir



Şekil 3.38. Nand Flash belleğe G/Ç durumu (Rusolut Sp. z o.o., 2022)

3.1.3.2.1. USB flash bellekler

USB flash bellekler, flash sürücü, flash disk ve parmak bellek adları ile de bilinmektedir. USB flash bellek (DiskOnKey) için ilk ABD patenti başvurusu IBM ile birlikte çalışan M-Systems firması tarafından Nisan 1999'da yapılmıştır (Ban ve ark., 1999). İlk model 8MB kapasitelidir. Daha sonrasında Singapur menşeli Trek 2000 International şirketi de "ThumbDrive" ismiyle satmaya başlamıştır. Veri depolama birimi olarak flash bellek kullanan tüm cihazlarda olduğu gibi veri kalıcı olarak kayıt edilip, silinerek tekrar tekrar yazılıp kullanılabilir. USB flash bellekler olarak denetleyici/controller, bir veya daha fazla bellek/memory çipinden oluşmaktadır. Ayrıca bu donanım üzerinde USB soketi, test noktalarını, kristal, led, direnç, kapasitör vb. gibi bileşenler bulunmaktadır. X-ray alındaki görüntüsü Şekil 3.39'de sunulmuştur.



Şekil 3.39. USB Flash Bellek ve X-ray altındaki görüntüsü

Küçük olması, dış etkenlere karşı dirençli olması ve yüksek kapasite sunmasından dolayı avantajlıdır. 1TB kapasiteli USB flash bellekler olmasına rağmen yaygın olarak 16, 32, 64GB gibi görece daha küçük kapasiteli modeller tercih edilmektedir. Bunun nedeni bu depolama birimlerinin veri saklamaktan ziyade verileri aktarabilme/taşıma amacıyla kullanılmalarıdır. USB flash belleğin USB standart 1.0'dan 4.0'a kadar geniş bir kullanımı olsa da USB 2.0 ve 3.0 sürümleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanılan veri yolu sürümüne göre de yazma ve okuma hızları değişmektedir. Bu sürümler geriye doğru uyumludur ve çalışması için 5V'luk akım gereklidir. Veri bağlantı arayüzü olarak USB tip A, tip C, Micro, Lightning gibi çeşitleri vardır. Genellikle 1 ve 2 adet veri çipi bulunan USB flash bellekler yaygın olarak kullanılsa da Şekil 3.40'dan da görüleceği üzere 4 adet veri çipi bulunan USB flash bellekler de mevcuttur.



Şekil 3.40. Dört adet veri çipine sahip USB flash bellek örnekleri (Dec, 2012)

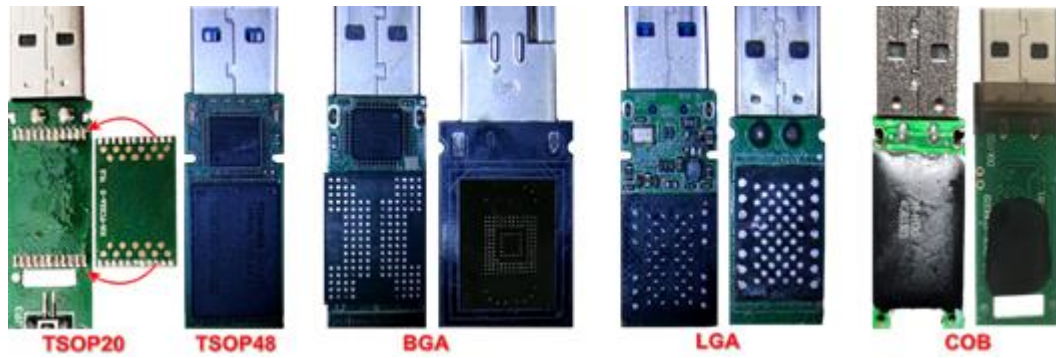
Yaygın olarak kullanılan USB 2.0'ın dört pini 3.0'ın dokuz pini bulunmaktadır. USB 2.0 ve 3.0 soketlerinin sinyallerinin anlamları USB soket üzerinde hazırlanarak Şekil 3.41'da sunulmuştur (USB Implementers Forum, 2000; 2008). Görüleceği üzere

USB 2.0 bağlantısının sabit bağlantılara sahip olduğu 3.0'ın ise bağlantısının ise iki farklı yapıda olduğu görülmüştür.



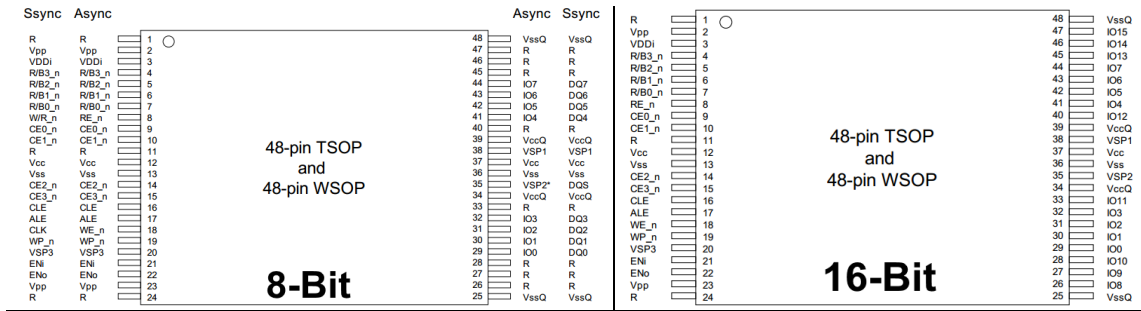
Şekil 3.41. USB flash bellek soketlerinin pin bağlantıları (Blizzard, 2018)

Belleklerin hemen hepsi tüm işletim sistemleri (Windows, Linux, Mac) ve USB sokete sahip cihazlar tarafından sorunsuz şekilde kullanılabilir. Veri güvenliğini yazılımsal veya donanımsal olarak sağlanabilmektedir. Donanımsal olarak üzerindeki parmak izi okuyucunu kullanarak ya da tuş takımını kullanılarak güvenlik doğrulaması yapan çeşitleri vardır. Kullanılan hafıza çiplerinin paketleme türüne göre TSOP/WSOP, BGA, LGA ve COP/BLOB şeklinde adlandırılmaktadır. Nand bellek çiplerinin paketleme türleri Şekil 3.42'da sunulmuştur.



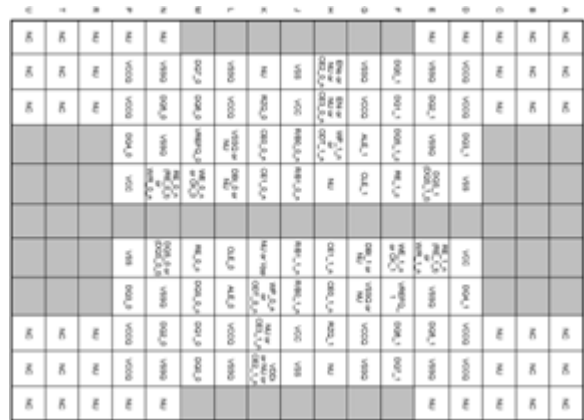
Şekil 3.42. Nand bellek çiplerinin paketleme türleri

TSOP: TSOP (Thinner Small Outline Packaging - İnce Küçük Çerçeve Paketleme), NAND flash bellekler için en çok kullanılan bağlantı türüdür. Çipin sağ ve sol uç kısımlarında baskı devre kartı üzerinde işaretli yerlere lehimleme yapılarak gerçekleştirilmektedir. NAND flash bellekler için uygulanan ilk paketleme yöntemidir. 20, 48 ve 56 bacaklı yapıları mevcuttur yaygın olarak 48 bacaklı olanı kullanılmaktadır. Tsop-48 veri çipinin sinyal çıkışları Şekil 3.43'de sunulmuştur.



Şekil 3.43. Tsop-48 veri çipinin sinyal çıkışları (ONFI Workgroup, 2021)

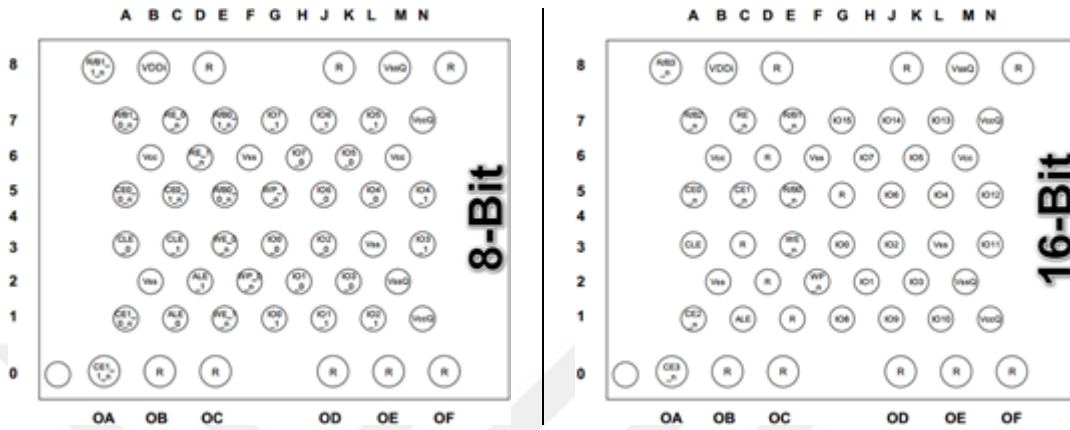
BGA: BGA (Ball Grid Array - Toplu Izgara Dizisi), PGA (Pin Grid Array - Pin Izgara Dizisi)'dan daha gelişmiş bir yapıdır. PGA, bellek çipinin alt yüzeyine düzenli sıralar hâlinde yerleştirilmiş iğne şeklindeki bacaklardan oluşmuş bir yapıdır. İğne şeklindeki bu bacaklar, baskı devre kartındaki elektrik sinyallerinin, elektronik devre plâketine aktarılmasını sağlar. BGA'da ise bu iğne şeklindeki bacakların yerini, lehim topları alır. Baskı devre kartı üzerinde de bu lehim toplarının karşısında da bakır lehimleme noktaları bulunur. BGA, ısı dağılımı bakımından ve elektriksel güç kullanımını açısından performans sunmaktadır. Eşit kapasiteye sahip BGA ve TSOP karşılaştırıldığında BGA, TSOP'un yaklaşık 1/3'üne karşılık gelen alanı kaplar. TSOP gibi sağ ve soldan bacaklar taşımadığı için taşınabilir cihazlarda kullanımı daha yaygındır. BGA-152 veri çipinin sinyal çıkışları Şekil 3.44'da sunulmuştur.



Şekil 3.44. BGA-152 veri çipinin sinyal çıkışları (ONFI Workgroup, 2021)

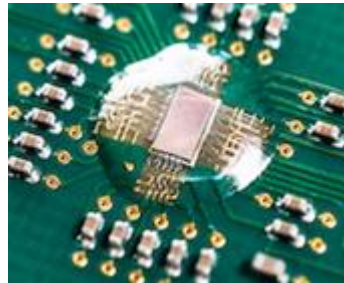
LGA: LGA (Land Grid Array - Yüzey Izgara Dizisi), iğne şeklinde bacaklar ya da lehim topları kullanılarak yapılan bağlantı türüdür. BGA gibi LGA da, yüksek I/O gerektiren cihazlarda kullanılmaktadır. Küçük alanlarda büyük kapasite ihtiyacı duyan akıllı telefon veya mobil cihazlarda tercih edilen LGA tek seferde 16GB, 32GB ya da

daha fazla kapasite sunmaktadır. Çünkü TSOP bağlantısında NAND yongası üzerindeki zar (kalıp) sayısı 2 ile sınırlıyken, LGA'da bu rakam 4 ve 5'e kadar çıkabilir. Bu da aynı fiziki koşullarda daha fazla kapasite anlamına gelmektedir. LGA-52 veri çipinin sinyal çıkışları Şekil 3.45'de sunulmuştur.



Şekil 3.45. LGA-52 veri çipinin sinyal çıkışları (ONFI Workgroup, 2021)

COB: COB (Chip on Board - Çip Devre Üzerinde), denetleyici işlevi görecek olan silikon baskı devre kartı ya da Nand bellek yapısının üzerine düzensiz bir kalıp şeklinde dökülür ve sertleşmeye bırakılır. COB, uygulanması en basit bağlantı türüdür ve kullanım sahası geniştir. Ucuz ve kalitesi nazaran az olan USB bellekler ve SD kartların üretiminde kullanılmaktadır. COB ile üretilmiş ürünler bozuldukları zaman NAND zarlarını tamir etmek veya yenisi ile değiştirmek zor ve maliyetlidir. Şekil 3.42'de sunulan COB örneğinin içinin görülebilmesi açısından Şekil 3.46'de şeffaf COB örneği sunulmuştur.



Şekil 3.46. Şeffaf COB örneği (Imec International, 2020)

Yaygın olarak TSOP, BGA, LGA ve COP Paketleme türleri kullanılsa da nadiren de olsa flash belleğin hafıza birimi için hafıza kartları kullanılarak üretilmiş USB flash bellekler de vardır.



Şekil 3.47. Hafıza birimi olarak hafıza kartı kullanılan USB flash bellekler

USB flash belleklerin hafıza birimlerinin gömülü olup olmamasına göre; SMD bileşen kullanan bellekler ve yekpare yapıdaki bellekler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu yapılardaki USB flash belleklere ve bu USB flash belleklerin röntgen ışınları altındaki görüntülerini Şekil 3.48’de örnek olarak sunulmuştur.

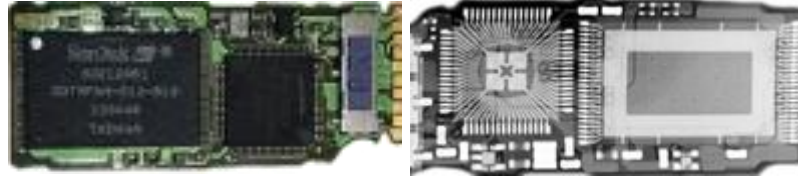


Şekil 3.48. Bellek türlerine göre USB flash bellekler ve x-ray altındaki görüntüleri

3.1.3.2.2. Hafıza kartları

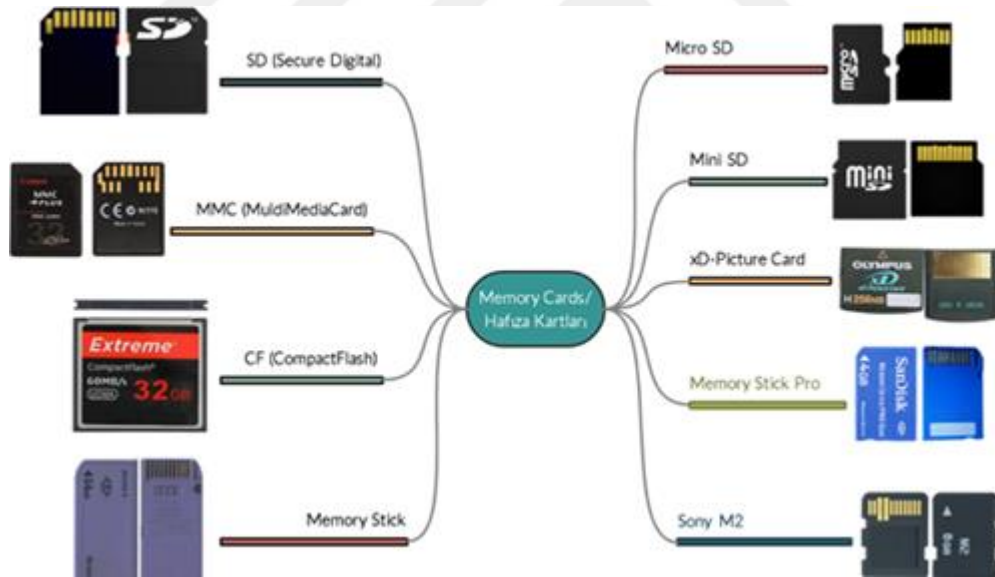
Hafıza kartı teknolojisinin temeli flash türündeki belleğe dayanmaktadır. Bellek kartı veya bellek kartuşu olarak isimlendirilirler ve verileri kalıcı olarak depolayan ortamlardır. İlk olarak 1994 yılında Nor flash tabanlı Compact Flash (CF) üretilmiştir. Sonrasında 1995 yılında Nand flash tabanlı SmartMedia, 1997 yılında Multimedia Card (MMC), 1998’de Memory Stick, 1999 yılında Secure Digital (SD) ve 2002’de xD-Picture takip etmiştir. SD hafıza kartlarının "mini" ve "mikro" ebatları daha sonrasında üretilmiştir (Michelson ve ark., 2010). Günümüzde Compact Flash, microSD ve SD türündeki hafıza kartları daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Takıldığı cihazların kendi depolama kapasitelerinin yetersiz kaldığı yerlerde cihazın hafıza depolama biriminin kapasitesini artırmanın en kolay ve pratik yoludur. Şekil 3.49’da bir Memory Stick hafıza kartı ve bu hafıza kartının röntgen ışınları altındaki görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 3.49. Memory Stick hafıza kartı ve röntgen ışınları altındaki görüntüsü

Hafıza kartları farklı bağlantı seçenekleri fiziksel boyutu ve veri aktarım hızları gibi faktörlere göre çeşitlilik sağlamaktadır. Hafıza kartlarının kapasitesi ve hızı her geçen gün artmaktadır. Hafıza kartlarının fiziksel boyutları ve bağlantı arayüzüne göre fazla miktarda çeşitleri vardır ve bunlardan bir kısmının fotoğrafları Şekil 3.50’de sunulmuştur.



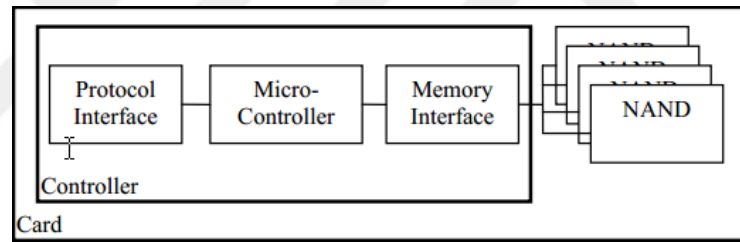
Şekil 3.50. Örnek hafıza kartları

Bu kartların kullanıldığı cihazlar; araç teypleri, cep telefonları, bilgisayarlar, dijital kameralar, elektronik bir müzik aletleri (klavyeler, piyanolar), güvenlik kameraları, müzik çalarlar (mp3/mp4), navigasyonlar, oyuncaklar, oyun konsolları, PDA'lar, s/ihalar, tabletler, taşınabilir medya oynatıcılar gibi taşınabilir elektronik cihazlar olarak sıralanabilir. Bunlardan bir kısmı Şekil 3.51’de sunulmuştur.



Şekil 3.51. Hafıza kartlarının kullanım alanları

Hafıza kartları bellek birimlerinin gömülü olup olmamasına göre; SMD kullanan ve kullanmayan (yekpare) olmak üzere ikiye ayrılır. Buna göre micro SD hafıza kartlarının tamamı yekpare yapıdadır. Hafıza kartlarının genel mimarisini Şekil 3.52'de sunulmuştur.



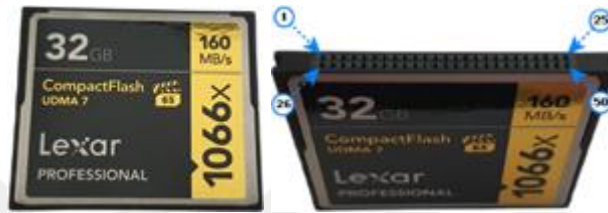
Şekil 3.52. Hafıza kartının genel mimarisini (Micheloni ve ark., 2010)

Hafıza kartları, USB flash bellekler gibi takıldığı cihazda çıkıntı yapmazlar genellikle takılan aygıtın içinde yer alır. CF, SD ve micro SD hafıza kartları halen geliştirilmeye devam etmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yarı iletken teknolojisi gün geçtikçe gelişmekte ve buna paralel olarak da veri kayıt birimlerinin kapasiteleri artarken fiziksel boyutları da küçülmektedir.

Compact Flash (CF), bu form ilk olarak 1994 yılında Sandisk tarafından belirlenmiş ve üretilmiştir. (De Vries ve ark., 2007). Dijital video ve fotoğraf makineleri ile PDA'lar gibi taşınabilir elektronik makinelerde veri depolama için yaygın olarak kullanılan çıkarılabilir bir depolama aygıtıdır. Compact Flash kartların çalışmaları için kullandığı iki iletişim protokolü vardır: PIO ve UDMA modu. CompactFlash geliştikçe yavaş olan PIO teknolojisi bırakılarak daha gelişmiş olan UDMA teknolojisine geçilmiştir. CompactFlash'ın CFast (CompactFast) olarak bilinen bir çeşidi,

CompactFlash'ın önceki sürümlerinin tasarlandığı PATA veri yolu yerine SATA arabirimini temel alır. Eylül 2016'da CompactFlash Association, PCIe 3.0 ve NVMe'ye dayalı yeni bir standart olan CFexpress'i duyurmuştur (CompactFlash Association, 2016). CompactFlash kartların kapasiteleri 1TB'ye kadar çıkmasına ve yazma hızı SD kartlara göre daha fazla olmasına rağmen SD kartlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Genellikle CF hafıza kartları profesyonel dijital kameralarda kullanılmaktadır. Örnek bir CF kartın görünümü ve veri sinyal sağlayan arayüzü Şekil 3.53'te, bu karta ait sinyal çıkışları Çizelge 3.8'te sunulmuştur.



Şekil 3.53. Örnek CF kart ve girişi

Çizelge 3.8. CF kart sinyal çıkışları (pinout)

	1	GND		26	-CD1
	2	D03		27	D111
	3	D04		28	D121
	4	D05		29	D131
	5	D06		30	D141
	6	D07		31	D151
	7	-A83		32	-CE21
	8	A10		33	-VS1
	9	-OE		34	-IORD
	10	A09		35	-IOWR
	11	A08		36	-WE
	12	A07		37	READY
	13	VCC		38	VCC
	14	A06		39	-CSEL5
	15	A05		40	-VS2
	16	A04		41	RESET
	17	A03		42	-WAIT
	18	A02		43	-INPACK
	19	A01		44	-REG
	20	A00		45	BVD2
	21	D00		46	BVD1
	22	D01		47	D081
	23	D02		48	D091
	24	WP		49	D101
	25	-B82		50	GND


MultiMediaCard (MMC), bu form ilk olarak 1997'de SanDisk ve Siemens tarafından piyasaya sürülmüştür (Chan, 1997). MMC'ler, 512 GB kadar depolama alanı sunabilmektedir. MMC kartlar da cep telefonları, dijital müzik çalarlar, dijital kameralar ve PDA'lar gibi hafıza kartlarının kullanıldığı hemen hemen her cihazda kullanılırlar. MMC yazma kilidi olmaması dışında SD kartlarla aynı özelliklere sahiptir. MMC. MMC'nin çeşitli varyantları bulunmaktadır. Bunlar: RS-MMC, DV-MMC, MMCplus ve MMCmobile, MMCmicro, MiCard, SecureMMC ve eMMC. Gelişim standartları JEDEC tarafından yönetilmektedir.

eMMC (Embedded MMC – Gömülü MultiMediaCard), yerleşik olarak lehimlenmiş çıplak bir BGA paketine sahip bir çiptir. eMMC, fiyat bakımından daha ekonomik olan taşınabilir cihazlarda birincil gömülü depolama birimi olarak

sunulmaktadır. Böylece bir Android veya Windows telefonunda veya düşük maliyetli bir bilgisayarda veya tablette bulunabilen daha pahalı bir depolama birimi yerine önyüklenabilir yerleşik bir denetleyiciye sahip düşük maliyetli bir flash bellek sistemi sağlanmaktadır. eMMC silikon kalıba gömülüdür ve MMC arabirimi, flash bellek ve flash bellek denetleyicisi olmak üzere en az bileşenden oluşur. Endüstri standardı olarak bir BGA paketinde sunulur. eMMC cihaza lehimlenerek kullanılabilir eMMC'nin teknik özellikleri, mikroelektronik sektörü için gelişim standartları JEDEC tarafından yönetilmektedir.

UFS, 2011'de JEDEC, hem eMMC hem de SD flash bellek kartlarının yerini alabilecek ve tek bir standartta toplamayı amaçlayan Evrensel Flash Depolama (Universal Flash Storage – UFS) standardını yayınlamıştır (JEDEC Solid State Technology Association, 2011). eMMC'de tek yönlü (half-duplex) bir veri iletimi vardır. Bundan dolayı belleğe aynı anda ya okuma ya da yazma mümkündür. UFS, çift yönlü (full-duplex) veri iletimi mevcuttur ve aynı anda okuma ve yazmaya izin verir. UFS eMMC'den, daha hızlıdır. Şubat 2015'te Samsung, taşınabilir cihazlar için 128 GB'a kadar boyutlardaki ilk UFS gömülü belleğini duyurmuştur (Samsung Electronics Co. Ltd., 2018).

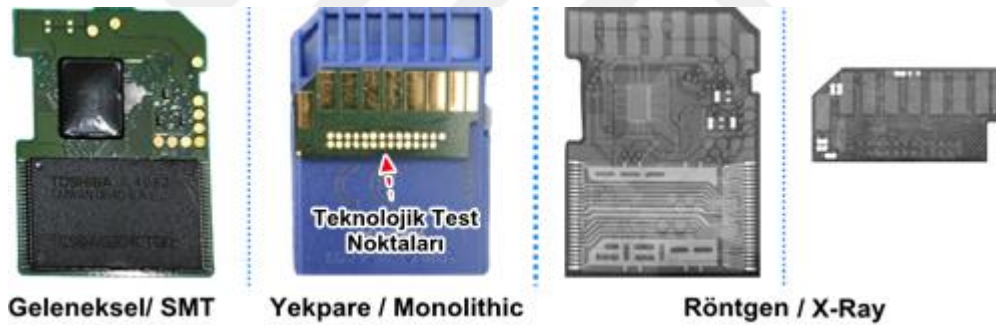
SD (Secure Dijital) Kart, 1999 yılında SanDisk, Panasonic ve Toshiba'nın ortak çabalarıyla MMC'leri geliştirmek için tanıtılmış ve standart haline getirilmiştir (Liu ve Liu, 2012). SD kart, küçük boyutlu, yüksek kapasiteli, kalıcı, yeniden yazılabilir depolama sağlamak üzere MMC kartının geliştirilmesiyle ortaya çıkmış hafıza kartı standardıdır. SD kartın işlevselliği MMC'ye dayanmaktadır, MMC'de olmayan ancak isteğe bağlı bir şifreleme özelliğine sahiptir. Secure Digital ismi, Güvenli Dijital Müzik Girişimi (Secure Digital Music Initiative – SDMI) standardı ile Dijital Hakların Yönetimi (Digital Rights Management) fonksiyonundan ileri gelmektedir. SD kartlar standart SD, mini SD ve mikro SD kartlar olmak üzere üç farklı boyuttadır. SD kartlar, küçük ebatları, 1TB ulaşan bellek kapasiteleri hatta Wifi üzerinden veri alışverişi yapabilmesi gibi özellikleri nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan bellek kartlarından. Cep telefonu, dijital kamera, tablet vb. gibi tüm taşınabilir elektronik cihazlarda kalıcı veri tutmak için kullanılmaktadır. SD Association'ın yayınladığı ve SD hafıza kartının UHS-I'e kadar geçerli olan sinyal çıkışları Şekil 3.54'te sunulmuştur (SD Card Association, 2020). UHS-II ve sonrasında aşağıdaki sinyallere SD Association tarafından eklemeler getirilmiş, bu sinyal çıkışlarının isimleri de aynı organizasyon tarafından yayınlanmışlardır.



Pin #	SD Mode			SPI Mode		
	Name	Type	Description	Name	Type	Description
1	CD/DAT3	I/O/PP	Card Detect/ Data Line [Bit 3]	CS	I	Chip Select (neg true)
2	CMD	I/O/PP	Command/Response	DI	I	Data In
3	VSS1	S	Supply voltage ground	VSS	S	Supply voltage ground
4	VDD	S	Supply voltage	VDD	S	Supply voltage
5	CLK	I	Clock	SCLK	I	Clock
6	VSS2	S	Supply voltage ground	VSS2	S	Supply voltage ground
7	DAT0	I/O/PP	Data Line [Bit 0]	DO	O/PP	Data Out
8	DAT1	I/O/PP	Data Line [Bit 1]	RSV		
9	DAT2	I/O/PP	Data Line [Bit 2]	RSV		

Şekil 3.54. SD hafıza kartı sinyal çıkışları

SD hafıza kartlarının, hafıza birimlerinin gömülü olup olmasına göre; SMD bileşen kullanan bellekler türleri ve yekpare yapıdaki bellek türleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Örnek SD kartlar ve bu kartlara ait röntgen ışınları altındaki görüntüleri Şekil 3.55'te sunulmuştur.

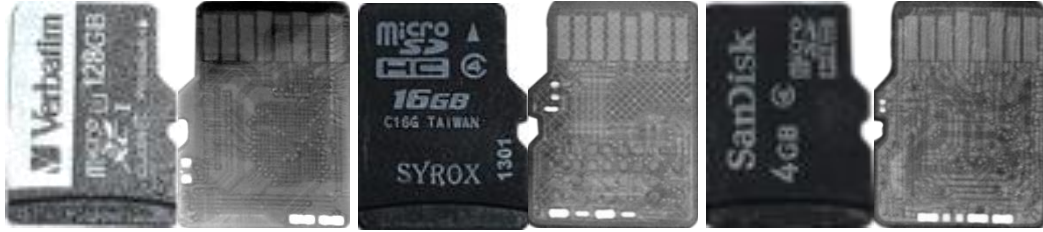


Şekil 3.55. Hafıza birimlerine göre SD hafıza kartı türleri

Micro SD (Micro Secured Digital), SanDisk Corporation tarafından 2004 yılında TrashFlash (T-Flash) ismiyle dünyanın en küçük hafıza kartı olarak üretilmiştir. SD Association tarafından 2005 yılında SanDisk TransFlash'tan microSD ismiyle türetilmiştir (AllMemoryCards, 2008). Micro SD ve TransFlash bellek kartı birbirine çok benzer ve birbirinin yerine kullanılabilir. Ancak aralarında çok az fark vardır. Mikro SD kartlar, Bluetooth, GPS ve NFC gibi bellekle ilgisi olmayan görevleri gerçekleştirebilecekleri anlamına gelen SDIO modunu destekler. Ancak bir TransFlash kartı bu tür bir görevi gerçekleştiremez.

Micro SD kartlar, en küçük ebatlara sahip olması, 1TB ulaşan bellek kapasitesi, elektronik cihazların neredeyse tamamına uyumlu olması gibi özellikleri nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan bellek kartıdır. Micro SD kartlar cep telefonu, dijital

kamera, tablet vb. gibi tüm taşınabilir elektronik cihazlarda ve SD karta dönüşümünü yapan adaptörü sayesinde SD kartın kullanılabilirdiği ortamlarda da kalıcı veri tutmak için kullanılmaktadır. Microsd hafıza kartları, hafıza birimlerinin gömülü olması sebebiyle yekpare yapıdadır. Örnek micro SD kartlar Şekil 3.56’da sunulmuştur.



Şekil 3.56. Hafıza kartı örnekleri ve röntgen ışınlarındaki görüntüleri

SD Association’ın yayınladığı ve SD kartlarda olduğu gibi micro SD hafıza kartının UHS-I’e kadar geçerli olan sinyal çıkışları Şekil 3.57’te sunulmuştur. Kırmızı ok ile gösterilen alan teknolojik test noktalarıdır(pinout). UHS-II ve sonrasında aşağıdaki sinyallere SD Association tarafından eklemeler getirilmiş, bu sinyal çıkışlarının isimleri de aynı organizasyon tarafından yayınlanmıştır (SD Card Association, 2020).

Pins	SD Mode			SPI Mode		
	Name	IO type	Description	Name	IO Type	Description
1	DAT2	I/O/PP	Data Line[Bit2]	RSV		
2	CD/ DAT3	I/O/PP	Card Detect / Data Line[Bit3]	CS	I	Chip Select (neg true)
3	CMD	PP	Command/Response	DI	I	Data In
4	V _{cc}	S	Supply Voltage	V _{cc}	S	Supply Voltage
5	CLK	I	Clock	SCLK	I	Clock
6	V _{ss}	S	Supply voltage ground	V _{ss}	S	Supply voltage ground
7	DAT0	I/O/PP	Data Line[Bit0]	DO	O/PP	Data Out
8	DAT1	I/O/PP	Data Line[Bit1]	RSV	-	Reserved

Şekil 3.57. microSD hafıza kartı sinyal çıkışları

SD Association’ın resmi sayfasındaki kılavuz ve dokümanlara göre SD ve microSD hafıza kartları üzerinde kullanılan simgeler ve anlamları aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur (SD Card Association, 2021).







Çizelge 3.9. Kartların kapasitelerine göre simgeleri

Kart Üzerindeki Simge				
Kapasite	2GB’a kadar	2GB – 32GB arası	32GB – 2TB arası	2TB – 128TB arası
Kısaltma	SD	SDHC	SDXC	SDUC
Kısaltma Açılımı	Secure Digital	Secure Digital High Capacity	Secure Digital Extended Capacity	Secure Digital Ultra Capacity

Çizelge 3.10. Uygulama performanslarına göre simgeleri

Uygulama Performans Sınıfı	Minimum Rastgele Okuma	Minimum Rastgele Yazma	Minimum Sürekli Sıralı Yazma
A1	1500 IOPS	500 IOPS	10 MB/s
A2	4000 IOPS	2000 IOPS	10 MB/s

Çizelge 3.11. Kartların hız sınıflarına göre simgeleri

Minimum sıralı yazma hızı	Hız Sınıfı	UHS Hız Sınıfı	Video Hız Sınıfı
2 MB/s			
4 MB/s			
6 MB/s			
10 MB/s			V6
30 MB/s			V10
60 MB/s			V30
90 MB/s			V60
			V90

Çizelge 3.12. Kartların veri yollarına göre simgeleri

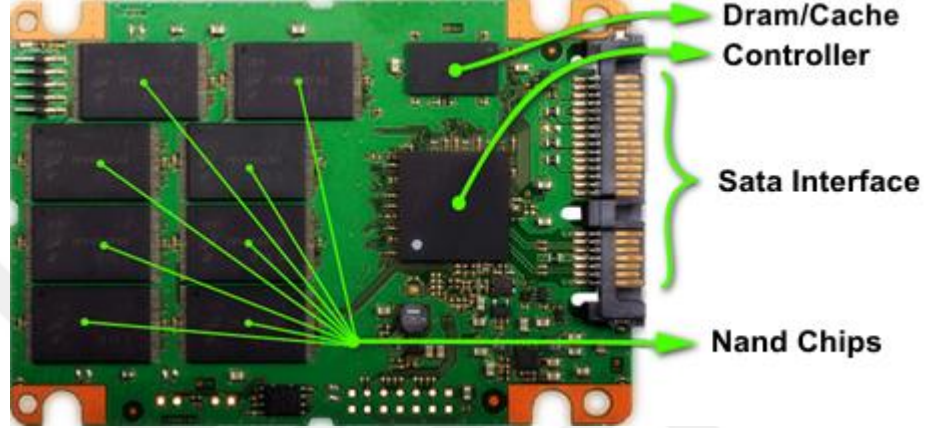
Varsayılan Hız	Yüksek Hız	UHS – I	UHS – II	UHS – III	SD Express
-	-	I	II	III	EX EXPRESS
12.5 MB/s	25 MB/s	50 MB/s 104 MB/s	156 MB/s 312 MB/s	312 MB/s 624 MB/s	985 MB/s 3938 MB/s

3.1.3.2.3. Katı hal diskleri (SSD)

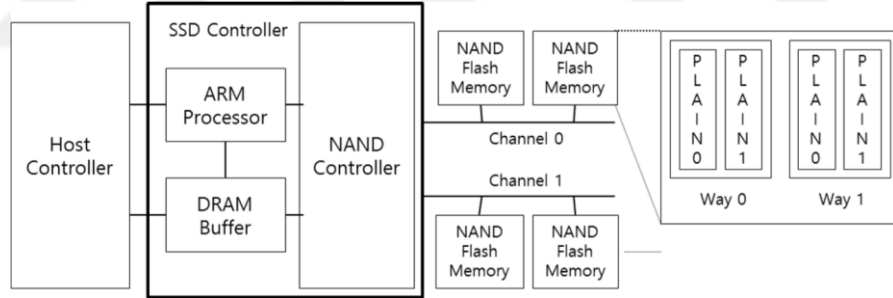
Storage Technology Corporation (StorageTek) tarafından 1978 yılında RAM tabanlı ilk Katı Hal Diskleri (Solid State Drive – SSD) üretmiş, Western Digital, 1989'da 2.5" NAND Flash SSD tanıtmıştır (Michelson ve ark., 2010). SanDisk'in 1991 yılında 20 Megabayt kapasiteli, 2.5" ebatında ve ATA uyumlu System-Flash isimli dünyanın ilk Flash tabanlı Katı Hal Diskini (SSD) piyasaya sürmüştür. (Harari, 2012)

SSD'ler, daha önce açıklanan flash bellekler ve hafıza kartları gibi elektronik veri yazma/okuma teknolojisini kullanmakta olup veri saklama birimi olarak günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Yarı iletken teknolojisinin gelişimiyle birlikte elektronik devrelerde kullanılan vakumlu tüplerden "solid state" tabanlı transistöre geçilmiştir. Kavram karışıklığının önüne geçmek adına içinde manyetik dönen bir plaka ve motor sistemi (hareketli) buldurmamayan, durağan manasındaki "katı hal diski" terimi seçilmiştir (Mas-Torrent ve Rovira, 2011). SSD'lerin HDD'lere göre fazla avantajları bulunmaktadır. Hareketli parçaları olmadığından sessiz çalışmaları, hareket hızından

dolayısı ısınma problemi yaşamamaları, daha az enerji tüketmeleri, düşmeye veya darbeye daha dayanıklı olmaları, elektronik olarak yapılan okuma/yazma sayesinde daha hızlı olmaları bu avantajlardan bazılarıdır. Her SSD veri hücresinin belirli yazılma sayısı olup, o sayıya ulaşıldığında o hücre erişilemez hale gelmektedir. SSD depolama ortamlarındaki denetleyici/controller, Dram/Cache ve Nand çipler gibi temel elektronik parçalar Şekil 3.58’de SSD’nin iç mimarisi de Şekil 3.59’da sunulmuştur.

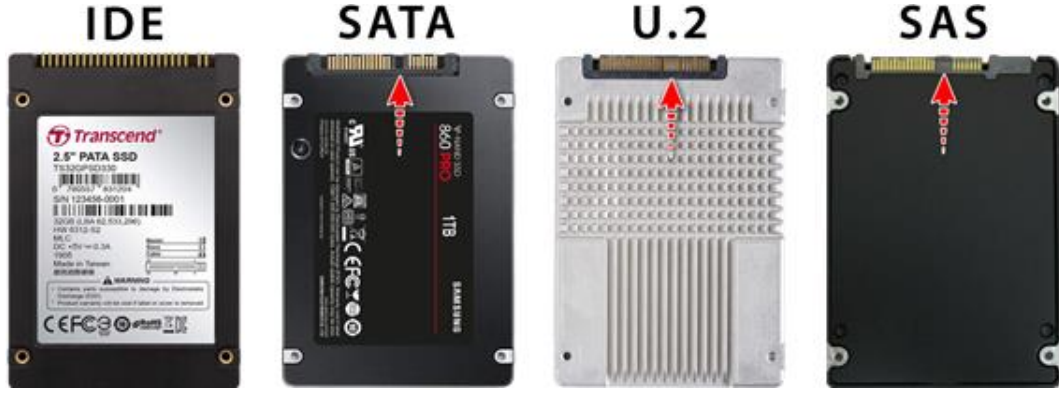


Şekil 3.58. SSD'nin temel parçaları



Şekil 3.59. SSD'nin iç mimarisi (Hwang ve Park, 2015)

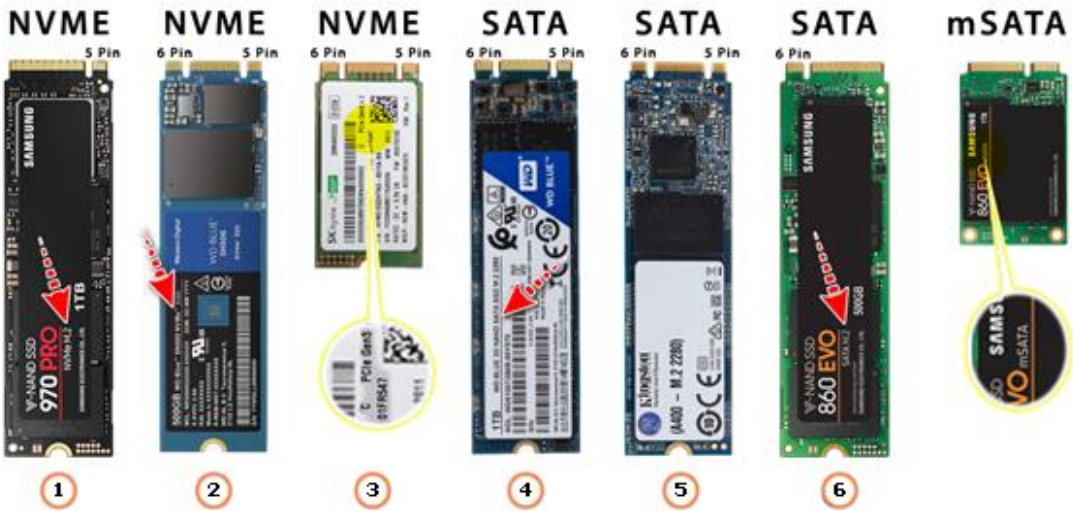
SSD’ler fiziksel olarak az yer kaplaması ve daha fazla hız sunması için üzerinde bulunan çiplere ve onların dağılımına ayrıca bağlantı arayüzüne göre farklı şekillerde ve büyüklüklerde üretilmektedir. AIC, EDSFF, IDE/Pata, M.2, mSata, Sas, Sata ve U.2 gibi birçok arayüz çeşidi mevcuttur. Son kullanıcı açısından düşünüldüğünde yaygın olarak SATA veya PCIe bağlantı arayüzü bulunan SSD’ler kullanılmaktadır. SATA ve PCIe veri/ bağlantı arayüzü iken, NVMe ve AHCI birer veri aktarım protokolüdür. SSD belleklerden 2.5” ebatında olan arayüz örneklerinin bir kısmı Şekil 3.60’te sunulmuştur.



Şekil 3.60. SSD Arayüz Örnekleri

Günümüzde SSD diskler fiziksel form olarak M.2 arayüzüne sahip bellekler çok sık kullanılmaktadır. Ebatları ise (genişlik-uzunluk) 22x30...22x110 şeklindedir (Storage Networking Industry Association, 2013). Bu formdaki SSD bellekler kullandıkları veri aktarım protokolüne ve arayüzüne göre; SATA arayüzünü ve NVMe protokolünü kullananlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Detayları Şekil 3.61'ten görüleceği üzere eğer disk üzerinde;

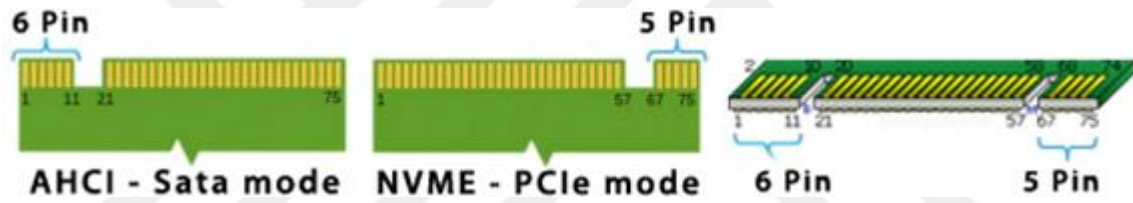
- Sadece 6 pin varsa (1) NVMe, (M key)
- Sadece 5 pin varsa (6) SATA, (B key)
- Hem 5 pin hem 6 pin mevcut ise (2-3-4-5) ilk bakışta bu iki türü birbirlerinden ayırt etmek zordur (M + B key). Üzerinde “NVMe” veya “PCIe” ibaresi bulunuyorsa NVMe protokolünü ve PCIe arayüzünü kullanan; NGFF veya SATA ya da herhangi bir ifade yazmıyorsa sata arayüzü kullanıldığı anlamına gelmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere her M.2 disk NVMe/Sata protokolünü desteklemez.



Şekil 3.61. M.2 arayüzüne sahip SSD örnekleri

NVMe, SSD'ler dikkate alınarak özel olarak tasarlanan bir veri saklama protokolüdür. NVMe, SSD'lerin PCIe veri yolu üzerinden doğrudan CPU ile iletişim kurmasına olanak tanıyarak büyük performans iyileştirmeleri için kanallar açmaktadır. Bu açıdan bakıldığında SATA III veri yolunun performans sınırı 550MB/s 6Gb/s'dir. Yani bir SATA SSD, kendi için kullandığı kısımdan sonra maksimum çıkışa ulaşmış olmaktadır. Bu durum PCIe Gen 4X4 SSD'ler için 8GB/s'ye (çift yönlü) kadar çıkmaktadır.

Şekil 3.61'ten görüleceği üzere M.2 ve mSata SSD'leri giriş pinlerinden kolayca ayırt edilebilmektedir. Bunun haricinde; M.2 diskleri sabitlemek için cihazın ortasında bir delik, mSata diskleri sabitlemek için ise kenarlarında iki delik bulunmaktadır. Ayrıca M.2 ismindeki "2" karakteri mSATA'nın ikinci sürümünü ifade etmek için kullanılmaktadır. M.2 (B-key, M-key, B+M key) disklerin pin numaralandırılması Şekil 3.62'te sunulmuştur.



Şekil 3.62. M.2 SSD pin numaralandırılması (pinouts.ru, 2022)

M.2 SSD'lere ait sinyal çıkışları Çizelge 3.13'te (JEDEC Solid State Technology Association, 2019), Micro sata SSD'lere ait sinyal çıkışları Çizelge 3.14 (APRO Corporation, 2019), M.2 B-Key ve M.2 M-Key SSD'lere ait sinyal çıkışları Çizelge 3.15 ve 3.16'te (Congatec AG, 2020) sunulmuştur.

Çizelge 3.13. mSata sinyal çıkışları

Pin No	Pin Description
1	NC
3	NC
5	NC
7	NC
9	GND
11	NC
13	NC
15	GND
17	NC
19	NC
21	GND
23	TX+
25	TX-
27	GND
29	GND
31	RX-
33	RX+
35	GND
37	GND
39	+3.3V
41	+3.3V
43	NC
45	NC
47	NC
49	DAS
51	GND
2	+3.3V
4	GND
6	NC
8	NC
10	NC
12	NC
14	NC
16	NC
18	GND
20	NC
22	NC
24	+3.3V
26	GND
28	NC
30	NC
32	NC
34	GND
36	NC
38	NC
40	GND
42	NC
44	DEVSLP
46	NC
48	NC
50	GND
52	+3.3V

Çizelge 3.14. Micro Sata sinyal çıkışları

Pin No	Pin Description	Pin No	Pin Description
P9	-	P9	-
P8	-	P8	-
P7	R	P7	R
P6	5V	P6	5V
P5	5V	P5	5V
P4	GND	P4	GND
P3	GND	P3	GND
P2	3.3V	P2	3.3V
P1	3.3V	P1	3.3V
S7	GND	S7	GND
S6	B+	S6	B+
S5	B-	S5	B-
S4	GND	S4	GND
S3	A-	S3	A-
S2	A+	S2	A+
S1	GND	S1	GND

Çizelge 3.15. M.2 – B-KEY sinyal çıkışları

Pin No	Pin Description	Pin No	Pin Description
1	CONFIG_3	2	3.3 V
3	GND	4	3.3 V
5	GND	...	...
7	USB_D+	...	...
9	USB D-	...	...
11	GND	...	...
...
27	GND	27	GND
29	PERn1 / USB RX- /SSIC-RXN	29	PERn1 / USB RX- /SSIC-RXN
31	PERp1 / USB RX+ /SSIC-RXP	31	PERp1 / USB RX+ /SSIC-RXP
33	GND	33	GND
35	PETn1 / USB TX- /SSIC-TXN	35	PETn1 / USB TX- /SSIC-TXN
37	PETp1 / USB TX+ /SSIC-TXP	37	PETp1 / USB TX+ /SSIC-TXP
39	GND	39	GND
41	SATA-B-/PERn0	41	SATA-B-/PERn0
43	SATA-B-/PERp0	43	SATA-B-/PERp0
45	GND	45	GND
47	SATA-A-/PETn0	47	SATA-A-/PETn0
49	SATA-A+/PETp0	49	SATA-A+/PETp0
51	GND	51	GND
...
57	GND	57	GND
...
69	CONFIG_1	69	CONFIG_1
71	GND	71	3.3V /VBAT
73	GND	72	3.3V /VBAT
75	CONFIG_2	74	3.3V /VBAT

Çizelge 3.16. M.2 – M-KEY sinyal çıkışları

Pin No	Pin Description	Pin No	Pin Description
1	CONFIG_3	2	3.3 V
3	GND	4	3.3 V
5	PERn3 (PCIe Lane 3 Rx-)	...	...
7	PERp3 (PCIe Lane 3 Rx+)	...	...
9	GND	...	...
11	PETn3 (PCIe Lane 3 Tx-)	12	3.3 V
13	PETp3 (PCIe Lane 3 Tx+)	14	3.3 V
15	GND	16	3.3 V
17	PERn2 (PCIe Lane 2 Rx-)	18	3.3 V
19	PERp2 (PCIe Lane 2 Rx+)	...	...
...
23	PETn2 (PCIe Lane 2 Tx-)	23	...
25	PETp2 (PCIe Lane 2 Tx+)	25	...
27	GND	27	...
29	PERn1 (PCIe Lane 1 Rx-)	29	...
31	PERp1 (PCIe Lane 1 Rx+)	31	...
33	GND	33	...
35	PETn1 (PCIe Lane 1 Tx-)	35	...
37	PETp1 (PCIe Lane 1 Tx+)	37	...
39	GND	39	...
41	SATA-B+/PERn0	41	...
43	SATA-B-/PERp0	43	...
45	GND	45	...
47	SATA-A-/PETn0	47	...
49	SATA-A+/PETp0	49	...
51	GND	51	...
...
57	GND	57	...
...
69	CONFIG_1	69	...
71	GND	70	3.3V
73	GND	72	3.3V
75	CONFIG_2	74	3.3V

Her SSD, verilerin sürücüye yazılmadan önce kısa bir süre saklandığı bir Dram/Cache olarak isimlendirilen bir önbelleğe sahiptir. Bu önbellekler SSD performansını artırmak için kullanılmaktadır. Nand flash bellek hücrelerinde daha önce

“Güç kesintisinde kurtarma” olarak açıklanan yöntem SSD’lerde Güç Kaybı Koruması (Power Loss Protection – PLP) olarak ifade edilmektedir. İstenmeyen elektrik kesintilerinde önbellekteki veri kaybı/ bozulma doğrudan Nand belleklerdeki verileri bloklarını etkilemektedir. Bu etkilenme olasılığını azaltmak için cihazlara kendi içinden çok küçük bir süreyle güç sağlanmasıdır.

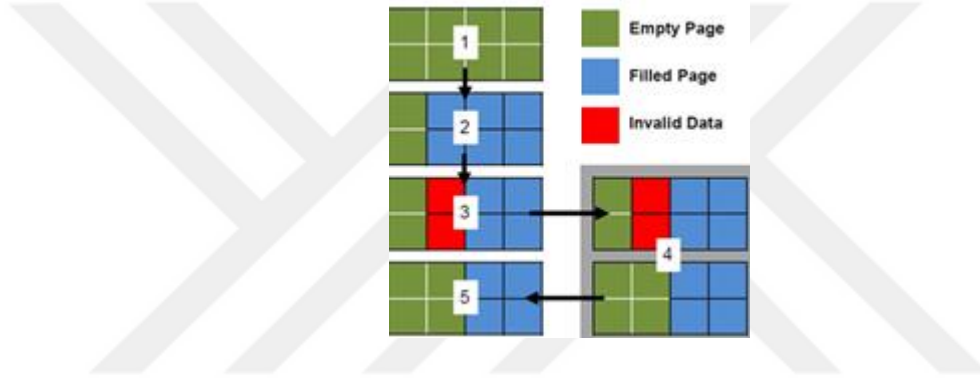
Genel olarak SSD dayanıklılığı TBW (TeraBytes Written) olarak ifade edilir. Bu ifade SSD arızalanmadan önce yazılabilecek tera bayt döngüsü toplamının sayısını belirtir. TBW’ler aynı zamanda ortama olarak güvenli olarak ne kadar veri yazabileceğinin anlaşılmasına yardımcı olur. Bu değer aşılması durumunda veri kaybı yaşanabilmektedir.

SSD’ler üzerindeki Nand flash çiplere verinin, nereye ve nasıl kaydedileceğini ya da silineceğini denetleyici/ controller tarafından düzenlenmektedir. SSD’lerdeki nand hücrelerinin ve dolayısıyla disk ömrünü ve performansının arttırmak için kayıt edilecek veri Nand flash çiplerine ve hücrelerine doğrusal bir sırayla kayıt edilmemektedir. Tüm çiplerdeki hücrelerin eşit sayıda kullanımını sağlamak için farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Bu algoritmalar denetleyici üreticilerine göre hatta denetleyici modellerine göre de değişiklik göstermektedir. Daha önce açıklandığı üzere Nand flash bellek hücrelerinde veri az yazılan hücreden çok yazılan hücreye doğru bir sıra kullanılır. Veri yazılabilmesi için o hücrenin boş olması, boş olarak işaretlenmesi değil, gerekmektedir. Yine daha önce açıklandığı üzere Nand flash bellek hücrelerinin adreslemesi mantıksal bir düzeydedir. Mantıksal olan bu adresleme de denetleyici tarafından gerçekleştirilmektedir ve işletim sistemi veya kullanıcıya yansımamaktadır. HDD’lerde olduğu gibi SSD’lerde de bozulan sektörlerin/ hücrelerin yerini alması için ayrılmış/ reserve sektör/ hücreler bulunmaktadır. SSD’ler, etiketleri üzerinde bulunan mantıksal kapasitelerinden yaklaşık %6 ila %25 daha fazla fiziksel alan sunmaktadırlar (Mas-Torrent ve Rovira, 2011). Ancak buradaki fazla olan alanlar bozulan hücrelerin yerini alması için ayrılmış kısımlardır ve doğrudan kullanıcı tarafından kullanılamazlar.

Trim: SSD üzerinde üç işlem gerçekleştirilir: okuma, yazma ve silme. Okuma, yazma işlemleri sayfa (page) seviyesinde, silme ise blok (block) seviyesinde gerçekleşir. Okuma işlem performansı yüksektir, "yazmadan önce sil" özelliği nedeniyle yazma işlem hızı düşmektedir. Bu, bir veri yazılmadan önce bir bloğun silinmesi/ temizlenmesi gerektiği anlamına gelir (Mao, 2013). Yazma performansını iyileştirmek için bir sata komutu olan TRIM komutu kullanılır. Trim, hangi dosyanın artık kullanılmayacağını denetleyiciye bildirmek için kullanılan bir komuttur. Trim’i aktifleştirmek veya pasifleştirmek için

Çizelge 3.17 komutlar kullanılmaktadır. Görsel olarak Şekil 3.63’de sunulan Trim komutunun çalışması aşağıdaki şekildedir:

1. SSD sayfaları herhangi bir veri içermemektedir. (Empty page)
2. Kullanıcı verileri, SSD sayfalarına yazılır. (Filled page)
3. Kullanıcı bazı verilerini siler. Sayfalar, işletim sistemi tarafından 'kullanılmıyor/ boş olmalı' olarak işaretlenir, silme işlemi yoktur veriler yine SSD'dedir.
4. Trim komutu, SSD denetleyicisine sayfalarda geçersiz veriler (invalid data) içerdiğini iletir. Geçersiz veri içeren (silinmesi için işaretlenen) sayfalar temizlenir.
5. Veriler, SSD bellek hücrelerine geri yazılır. Geçersiz veriler temizlenmiş ve sayfalara anlamlı veri yazılabilecek hale getirilmiş olur.



Şekil 3.63. Trim komutunun çalışma biçimi (Clements, 2010)

Çizelge 3.17. Trim’i aktifleştirmek/ pasifleştirmek için gerekli komutlar

Dosyala Sistemi	Durum	Komut
NTFS	Aktif	fsutil behavior set disabledeletenotify NTFS 0
	Pasif	fsutil behavior set disabledeletenotify NTFS 1
ReFs	Aktif	fsutil behavior set disabledeletenotify ReFS 0
	Pasif	fsutil behavior set disabledeletenotify ReFS 1



Şekil 3.64. Trim komunun çalışma şeklinin mizansen gösterimi (I_Condone_Pone, 2017)

TRIM komutunun kullanılabilmesi için hem işletim sisteminde hem de SSD diskte TRIM desteğinin bulunması gerekir. TRIM desteği olmaksızın bir silme işlemi

yapıldığında işletim sistemi silinen dosyayı kendi haritasında silindi olarak işaretler ancak SSD diske ayrıca sil komutu göndermez. Sil komutu gönderilmediği için SSD üzerinde halen bulunan ancak gereksiz olan veri SSD disk üzerinde çalışan Garbage Collection adı verilen yazılım tarafından bir süre sonra tespit edilerek silinirken aynı zamanda defragmentasyon işlemi de yapılarak SSD disk üzerindeki veri bloklarının daha verimli kullanılması sağlanır. Ancak Garbage Collection tarafından gereksiz ve kullanılmayan verinin tespiti ve defragmentasyona tabi tutulması zaman alabilmektedir. TRIM teknolojisi aktif olan bir sistemde ise: işletim sisteminde yapılan silme işlemiyle ilgili olarak silinmiş olarak görünen alanlar işletim sistemi tarafından SSD kontrolcüsüne bildirilir. SSD kontrolcüsü kendisine işletim sistemi tarafından silindiği bildirilen alanları çöp olarak işaretler. Daha sonra SSD diskin boşta olduğu zamanlarda çöp olarak işaretlenen alanlar Garbage Collection tarafından silinerek veri blokları düzenlenir. SSD kontrolcüsünü çöp olarak işaretlemesi ve Garbage Collection tarafından işaretlenen alanların silinmesi ve yeniden düzenlenerek bütün halinde Block'lara kaydedilmesi işlemlerinin tamamı işletim sistemi ve kullanıcı tarafından kontrol edilemeyecek bir yapı içerisinde gerçekleşmektedir. Yani eğer bir alan TRIM tarafından gönderilen komutla çöp olarak işaretlenmişse bu alan bir süre sonra geri getirilemeyecek şekilde silinecek ve block'lardaki veri ideal şekilde düzenlenecektir. Bu işlemler yapılırken aynı zamanda mantıksal adreslemeler de değişebilmektedir. Trim, performans isteyen bir kullanıcı için tatlı bir rüya olarak kabul edilirse, verisi silinmiş bir kullanıcı için terleten bir kâbus olmaktadır.

3.1.3.2.4. Mobil cihazlar ile diğer veri kayıt ortamları

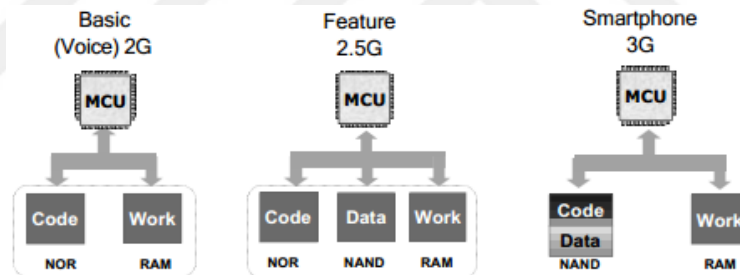
Mobil cihazlar, kullanıcı hareketliliğine uyum sağlanabilmesi için taşınabilirliğe önem verilerek tasarlanmış olan, tek veya çift el ile tutularak kullanabilen, üzerinde birçok sensörü bulunan, kablosuz olarak iletişim sağlayabilen, bir ekrana, gömülü veya çıkarılabilir hafızaya sahip olan ve çoklu işlem yeteneklerine sahip olan, gömülü işletim sistemlerine sahip olan küçük bilgisayarlardır. El cihazı, el bilgisayarı olarak da isimlendirilebilirler, dokunmatik ekranından veya üzerindeki sensörler sayesinde sesle veya hareketlerle ile de yönetilebilmektedir. En önemli avantajı bilgiye veya herhangi bir şeye olan mesafeyi ortadan kaldırmasıdır. Böylelikle hayatın tüm alanlarında navigasyon, internet ve iletişim vb. gibi yaşam konforunu arttırmaya yönelik teknolojilerin sunulmasına olanak sağlanmış olur. Mobil cihazlar genel olarak akıllı telefonlar, tuşlu

cep telefonları, kişisel dijital asistan (PDA), tabletler olarak sınıflandırılabilirler (Yakut, 2020). Günümüzde Android ve iPhone OS işletim sistemlerine sahip akıllı telefonlar çok sık olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.65’de gömülü işletim sistemine sahip cep telefonu ve dijital kameranın çalışma prensibi sunulmuştur.



Şekil 3.65. Gömülü cihazların çalışma prensibi (Breeuwsma ve ark., 2007)

Günümüzde bu cihazların gömülü veya çıkarılabilir hafıza boyutları Terabayt seviyelerine ulaşmıştır. Cep telefonlarında kullanılan bellek sistem mimarileri Şekil 3.66’de sunulmuştur.



Şekil 3.66. Cep telefonlarında bellek sistem mimarileri (Micheloni ve ark., 2010)

Bunun yanında akıllı arabalar, akıllı ev gereçleri, dijital fotoğraf makinaları, dijital video kameralar, GPS cihazları, müzik ve video oynatıcılar, oyun konsolları, ses kayıt cihazları, tarayıcılar ve yazıcılar tamamında gömülü ve genişletilebilir/ çıkartılabilir bir bellek barındırmaktadırlar.

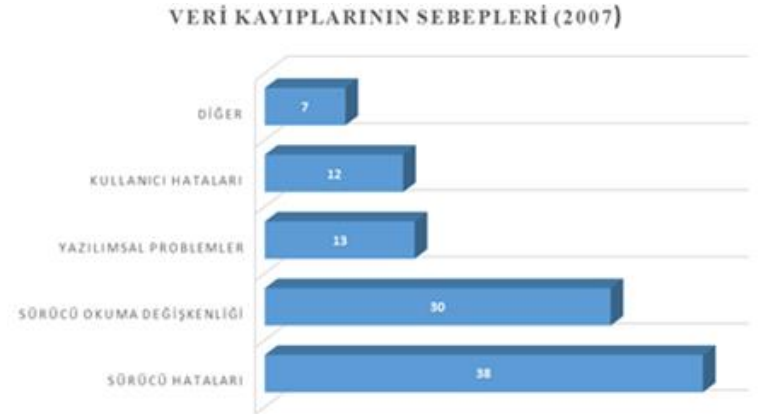
3.2. Veri Kaybına Neden Olan Sebepler ve Veri Kurtarma Yöntemleri

Dijital verilere çeşitli nedenlerden dolayı, normal kullanım yollarıyla erişilememesi/kullanılamaması durumunda veri kaybı durumu oluşmaktadır. Veri kaybına neden olan sebeplerin saptanarak, gerekli müdahalelerin özel donanımlar ve yazılımlar kullanılarak ortadan kaldırılması durumuna da veri kurtarma denilmektedir.

Bu çeşitli nedenler genel olarak; verinin gizlenmesi, silinmesi, bozulması, şifrelenmesi; veri barındıran donanımın kırılması, yanması, mekanik veya elektronik olarak arızalanması; donanım yazılımının (firmware) bozulması, cihaz tarafından kullanılmaması vb. şeklinde örneklendirilebilir. Bu sayılan sebepler doğal, kazaen ya da sabotaj kaynaklı olabilmektedir. Şekil 3.67’de Ontract Data firmasının 2003’te yaptığı araştırmada sonucunda görülebileceği üzere veri kayıp nedenlerinin %40’ı donanımsal, %29’u kullanıcı hataları, %13’ünü yazılımsal, %9u veri hırsızlığı, %6’sını bilgisayar virüsleri nedenlerinden kaynaklandığı görülmektedir.



DeepSpar Data Recovery Systems firmasının 2007 yılında 14 ülkedeki 50 veri kurtarma firmasından elde ettiği ve veri kayıp nedenleriyle ilgili olarak yaptığı araştırmada ise %38’i donanımsal, %30’u sürücü okuma değişkenliği, %12’u kullanıcı hataları, %13’ü yazılımsal, %7’si diğer sebeplerden kaynaklandığı görülmüştür (Şekil 3.68).



Bulut depolama veya diğer yapılarıdaki (Das, Nas, San) ağ üzerindeki arızalar veya bunlardan kaynaklı sorunlar sistemsel arızalar olduğu için bunlar görmezden gelinirse sonuç olarak temelde veri kaybı veri kayıt birimlerinde ortaya çıkmaktadır. Örneğin Raid seviyesi kullanılan cihazdaki bir diskin bozulması tüm yapıyı etkiler. Bu diskteki problem çözümlerse tüm yapı tekrar kullanıma hazır olmuş olacaktır. Ancak Das, Nas ve San gibi cihazlar son kullanıcıya diskleri çeşitli parametreler kullanılarak mantıksal bir alan (volume) sunmaktadır. Eğer cihazın kendisi bozulursa mantıksal olarak sunduğu yapı da ortada olmayacağı için, (Raid 1 hariç) verilere erişilemeyecektir. Bu yapı oluşturulurken kullanılan parametreler yazılımsal olarak oluşturulursa (simüle edilirse) ancak verilere ulaşılabılır.

Daha önce bahsedildiği ve yukarıdaki istatistiksel bilgilerden görüleceği üzere veri kayıplarının sebepleri çok çeşitli olabilmektedir. Veri kurtarma işlemleri, kullanılan yöntem veya müdahale edilen dijital materyalin türüne göre çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulmaktadır. Literatürde veri kurtarma yöntemlerinin sınıflandırılması, “Arızanın sebebine” ve “Veri kayıt teknolojisine” göre yapılmaktadır (Güllüce ve Benzer, 2015). Daha önceden de belirtildiği gibi veri kurtarma sırasında esas amaç kullanıcının veriye erişememe nedenini ortadan kaldırmaktır. Veri kurtarma işlemleri gerçekleştirilirken bu sınıflandırmalardan ziyade çözüm odaklı ilerlendiği için hangi soruna hangi işlemin yapıldığına yönelik olarak; yazılımsal, donanımsal ve yarı donanımsal olmak üzere üç başlıkta değerlendirilecektir. Karşılaşılan sorunlar ve çözümlerinin nasıl gerçekleştirildiği birlikte sorunun detayı uzun uzadıya sözel olarak değil de mümkün olduğu kadar görsel örnekler kullanılarak açıklanmaya çalışılacaktır. Çözüm yöntemleri içerisinde geçen terim açıklayacak olunursa;

Ham kurtarma: Raw recovery veya File carving olarak da isimlendirilmektedir. Veri kayıt ortamındaki dosyaların heximal yapısı incelendiğinde, farklı türdeki dosyaların farklı üst bilgiye (header-) bazı dosyaların da üst bilgiye ilaveten alt bilgiye (footer) sahip oldukları Şekil 3.18 görülmektedir.

Çizelge 3.18. Dosyaların üst ve alt bilgileri (Exterro Inc., 2021; Kessler, 2022)

Dosya Uzantısı	Dosya Açıklaması	Signature (Header)	Footer
(\$MFT)	Windows MFT Records	46 49 4c 45 30 00	
(FAT1)	FAT32 File Allocation Table	F8 FF FF 0F FF FF FF 0F	
apk	Android Archive File	50 4B 03 04	
doc	MS Office Word document	EC A5 C1 00	
docx	MS Office 2007 documents	50 4B 03 04 14 00 06	
jpg / jpeg	JFIF/JPEG Image file	FF D8 FF E0 00 10 4A 46	FF D9 49 46

mp3	MPEG-1 Audio Layer 3 audio file	49 44 33	
mp4	MPEG-4 Video Files	00 00 00 18 66 74 79 70 33 67 70 35	
mov	Apple Quicktime movie file	00 00 00 20 66 74 79 70 4D 34 41 20	
pdf	Adobe Portable Document Format	25 50 44 46	0D 25 25 45 4F 46 0D
psd	Adobe Photoshop Image File	38 42 50 53	81 FF 81 FF 91 FF 81 FF F9 FF
rar	WinRAR v3 Compressed Archive File	52 61 72 21 1A 07 00 CF	
	WinRAR v5 Compressed Archive File	52 61 72 21 1A 07 01 00	
xls	MS Office Excel Spreadsheet	FD FF FF FF	45 78 63 65 6C 2E 53 68 65 65 74 2E 38 00 F4 39 B2 71
xlsx	MS Office 2007 documents	50 4B 03 04 14 00 06	
zip	WinZIP compressed archive	57 69 6E 5A 69 70	

Dosyaların birbirinden ayırt edilmesini sağlayan bu üst ve alt bilgiye dosya imzası (file signature) denilmektedir. Veri kurtarma ve adli bilişim yazılımları veri kayıt ortamını baştan sonra okurlar/ tararlar. Bu taratma sırasında dosyaların imzalarına (header-footer) ve veri kayıt ortamında kullandıkları kümeleme bilgilerine (cluster) dayanarak dosyaları veya dosya sistemi yapılarını kurtarma işlemine ham kurtarma denir. Eğer veri kurtarma yazılımları kümeleme bilgilerine erişemez ve dosyalardan arka arkaya sıralı şekilde kümeleme kullanmamışlarsa (fragmante) dosyalar tam olarak kurtarılamayacaktır. Bu yüzden kullanılan veri kurtarma yazılımının ilk önceliği dosya sistemi yapılarını (MFT, FAT1, VBR vb.) kurtarılmasını sağlamaktır.

Dosya bazlı kurtarma: Ham kurtarma işleminin tüm dosyalar için değil de bir veya birkaç dosya için gerçekleştirilmesidir.

Dosya onarımı: Ham kurtarma veya dosya bazlı kurtarma neticesine “kurtarılan” dosyaların bozuk veya hasarlı gelmesi durumunda yazılımlar ile bu bozukluğun veya hasarın giderilmesi işlemidir.

Genel olarak arızalar belirli başlıklar altına toplamaya çalışılsa da detaya inildiğinde her arıza sebebinin farklı olduğu ve buna bağlı olarak çözüm yollarının da farklı olacağı bilinmelidir.

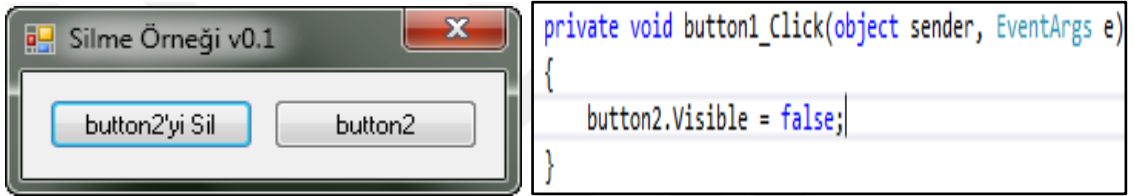
3.2.1. Yazılımsal veri kayıpları ve çözümleri

Yazılımsal veri kayıpları; herhangi bir fiziksel arızanın bulunmadığı, normal olarak çalışan dijital depolama birimine erişilirken istenen dosyaların açılmaması/

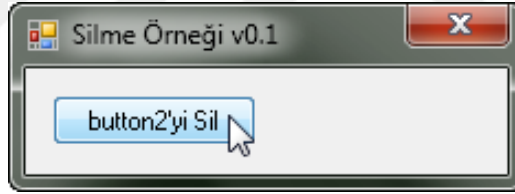
görüntülenememesi/ kullanılmaması durumu olarak tanımlanır. Şekil 3.67 ve 3.68 göre yazılımsal problemlerin diğer problemler kıyaslandığında %13'lük bir sorun teşkil ettiği görülmektedir.

Birçok kişi, dosyalarını basitçe geri dönüşüm kutusuna taşıyarak ve ardından geri dönüşüm kutusunu boşaltarak dosyalarının kalıcı olarak silindiğine inanmaktadır. Ancak iki tür silme işlemi vardır.

Şekil 3.69'teki gibi bir form uygulamamız olduğunu ve formumuz üzerinde "button1" ve "button2" isimli iki adet butonun olduğunu düşünelim."button1" in text'ini "button2'yi Sil" olarak değiştirdikten sonra Click event'ine de "button2.Visible=false;" yazalım.



Şekil 3.69. Silme örneği için form tasarımı ve butona yazılan kod



Şekil 3.70. Uygulamada ilgili butona tıklandığındaki durum

Şekil 3.69'teki "button2'yi Sil" e tıklanırsa "button2" etiketli butonun kaybolduğu görülecektir (Şekil 3.70). Burada yapılan işlem sadece "button2"nin form üzerinde görüntülenmesini engellemektir. Dosyaların bilgisayardan silinmesi de bu şekildedir. Kullanıcı tarafından bir dosyaya "Sil" komutu verildiğinde dosya sistemi, kullanıcıya yukarıdaki gösterildiği gibi sadece dosyanın görünmemesi (erişilememesi) sağlayarak, dosyanın silindiği illüzyonu yapmış olur. Anlaşılacağı üzere burada buton gerçekten silinmedi sadece kullanıcıdan gizlendi, disk üzerinde de veriler hâlen duruyorken sadece kullanıcıya gösterilmemesi durumu birinci tür silmedir.

Şöyle bir soru akla gelebilir: dosyalar silindiğinde diskin boş alan miktarı artıyor, gerçek bir silinme olmasa bu boş alan miktarı nasıl ortaya çıkar?

Bu soruyu yanıtlamadan önce ayrılmış (allocated) ve ayrılmamış (unallocated) alan kavramlarının açıklanması gerekmektedir.

Dosya sistemlerinde kullanıcının dosyalarının kayıtlı bulunduğu disk alanlarına ayrılmış alan, dosya sisteminde boş olarak işaretli ve kullanıcının yeni dosyaları kayıt etmek için kullanabileceği alanlara da ayrılmamış alan denilmektedir. Biraz daha detaylandırmak gerekirse;

Veri kayıt ortamlarındaki dosya sistemlerinin disk üzerindeki boş ve dolu sektör bilgilerini tuttuğu yapılar (örneğin NTFS için Bitmap) vardır. Veri kayıt ortamında herhangi bir dosya kaydedildiğinde dosya sistemi boş/ dolu sektörleri tuttuğu yapıya kayıt işlemi sırasında dosyanın büyüklüğüne göre kullanılacak sektörleri de işaretler ve böylece kaydı yapılan dosya için o alanın ayrıldığı belirtilmiş olur. Eğer bir dosya siliniyorsa dosya sistemi kendi üzerindeki boş/ dolu sektörleri tuttuğu yapıya o dosyanın kullanmış olduğu sektörlerin bundan sonra tekrar kullanabileceğini belirtir (o sektörler artık boş) şekilde işaretleme yapar. Şu an için aktif olarak herhangi bir dosyaya ayrılmış bir alan olmadığını belirtir. Anlaşılacağı üzere ilgili sektörleri boşaltma/ temizleme işlemi yapılmamaktadır.

Ayrılmış alan: veri kayıt ortamında aktif bulunan yani (kullanıcı tarafından görülebilir) dosyaların kapladığı alanların (sektörlerin) tamamına verilen isimdir.

Ayrılmamış alan: Veri kayıt ortamındaki dosya sisteminde aktif olarak dosya barındırmıyor şeklinde işaretli bulunan alanlardır. Dosya sistemi tarafından kullanıcıya yeni dosyalar kaydetmek için kullanabileceği alanı ifade etmek için kullanılan terimdir. Burada işaretli bulunan alanın oluşma durumu iki şekildedir:

1: Disk yeni alınmıştır ve daha önce hiç kullanılmadığından dolayı işaretlidir

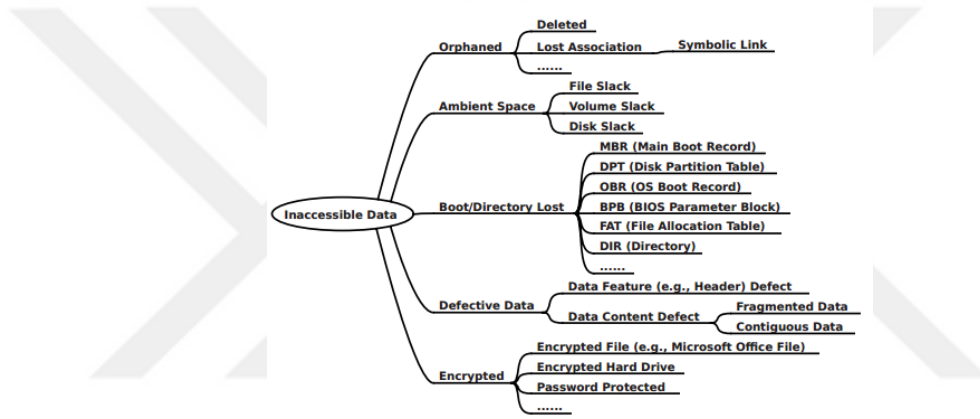
2: Kullanıcı bir dosyayı silme komutu vermiştir ve dosya sistemi de o dosyanın bulunduğu alanın bundan sonra kullanılabileninden dolayı işaretlemiştir.

Bu bilgiler ışığında, dosya sistemi içerisindeki boş/ dolu sektörleri tutan yapı üzerinden boş alan miktarı hesaplandığı ve bir dosya silindiğinde bahsi geçen yapı üzerindeki boş olarak işaretli alanlar çoğaldığı için veri kayıt ortamı üzerindeki boyutun buna bağlı arttığı anlaşılacaktır. Ayrıca adli bilişim alanında silinmiş alandan gelen veri kavramı da kullanıcının daha önce sildiği dosyaların tutulduğu ancak aktif (gözükün) herhangi bir dosyanın kullanmadığı alanları ifade etmek için kullanılır.

İkinci tür silme işlemi ise kalıcı silmedir (wipe - data erasure) Yukarıda anlatılan silme işleminin yanında verilerin bulunduğu sektörler üzerine FF veya 00 ya da farklı

heximal değerler yazılması işlemidir. Böyle durumlarda veri kurtarma işlemleri uygulansa bile veri kurtarılması mümkün değildir.

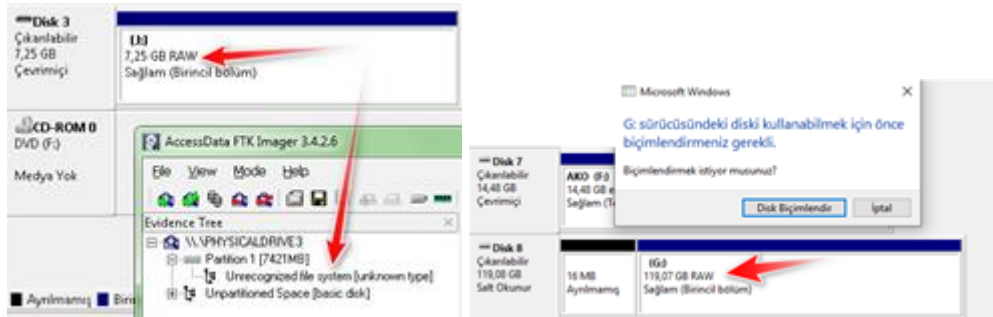
Yazılımsal veri kurtarma yazılımlardan bazıları şunlardır: CDRoller, Disk Doctors, Easeus Data Recovery Wizard, File Scavenger, Flash Extractor, PC-3000, R-Studio, Recover MyFiles, Rusolut, Softcenter Image Explorer. Bu yazılımlar; virüsler, bilişim sistemine yapılan saldırılar ya da kullanıcı tarafından bilinçli veya bilinçsiz olarak silinen dosyaları, herhangi bir sebeple hasar gören ya da silinen disk bölümlerini, dosya bazlı bozulmaları ve donanım ya da sistem çökmeleri sonucu kaybolan verileri kurtarabilmektedir. Ayrıca RAID disklerdeki silinmiş verileri ve yapılandırma bilgilerini de getirebilmektedir.



Şekil 3.71. Verilerin erişilememesine göre sınıflandırılmaları (Guo ve Slay, 2010)

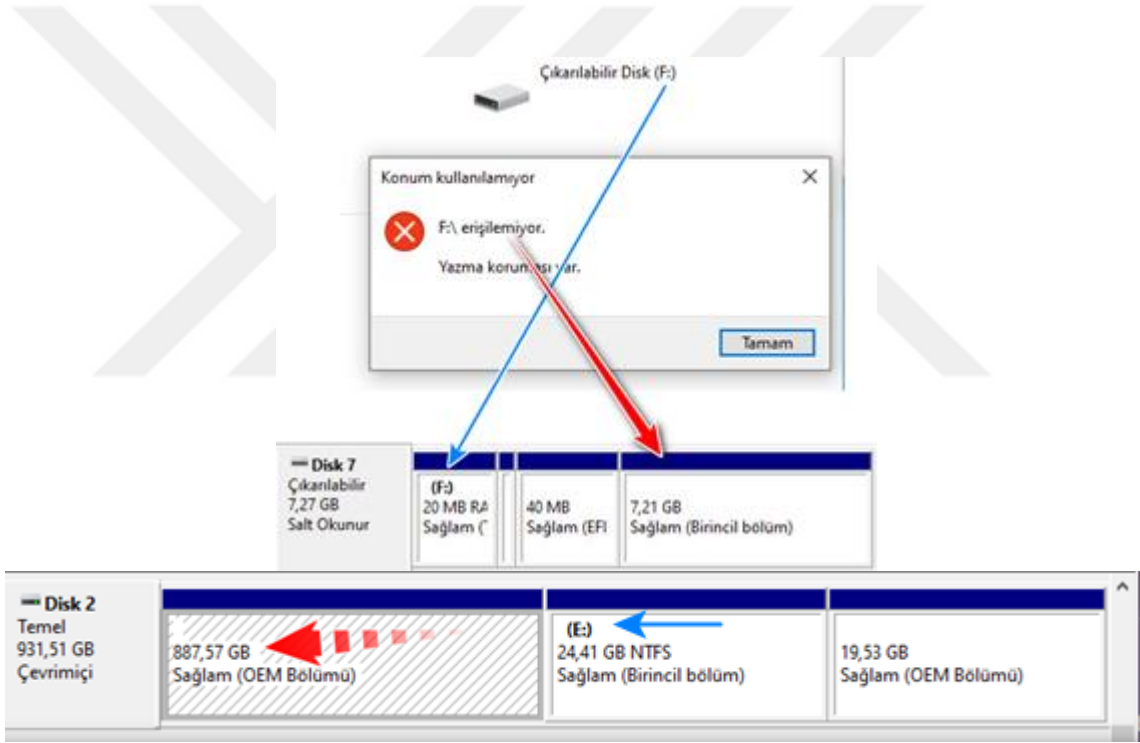
Yazılımsal sorunlar ve çözümlerine örneklendirilecek olunursa aşağıdaki örnekler verilebilir;

- ❖ Dosya sisteminin bozulması, dosyalama sistemine ait dosyaların silinmesi veya bozulması, diskin RAW'a (ham hale) dönüşmesi sonucunda verilere ve dosyalara erişilememesi durumudur (Şekil 3.72).



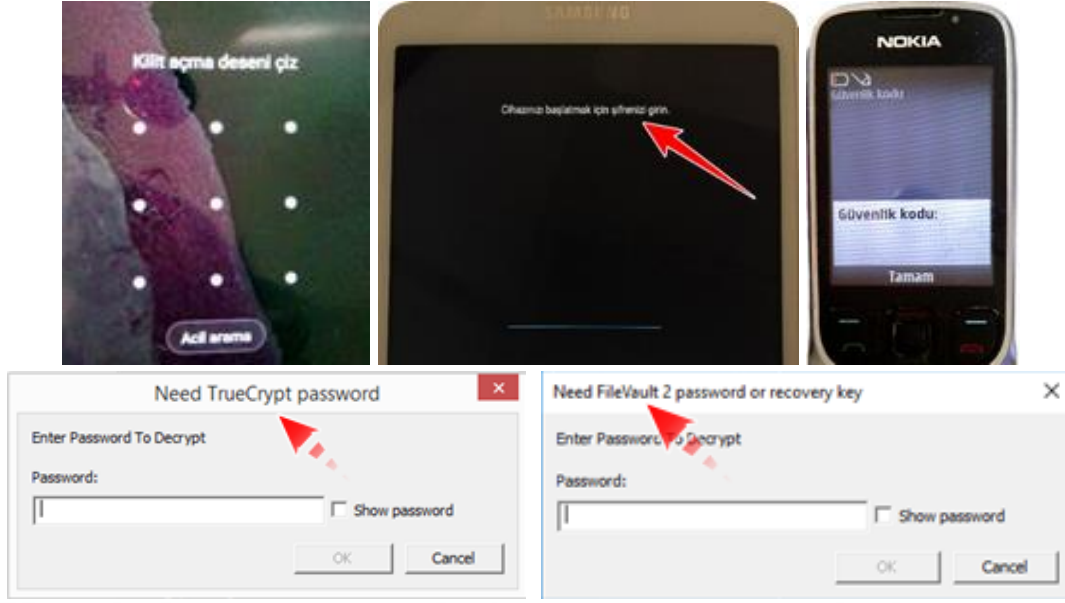
Şekil 3.72. Dosya sistemi RAW olmuş cihaz örnekleri

- Bu durumdaki sürücülerdeki verilere erişmek için veri kurtarma yazılımları ile Raw recovery ya da dosya tipi bazlı taratma yapılması gerekmektedir. Alternatif bir yöntem olarak da Unix tabanlı bir işletim sistemi ile sürücüye erişmeyi tekrar denemelidir. Cihazın adli kopyası /imajı alınmadan da chkdsk komutları kullanılmamalıdır.
- Bu sorun genellikle statik elektrikten kaynaklıdır, veri kayıt ünitelerini bilgisayar sistemine bağlarken buna dikkat edilmelidir.
- ❖ İşletim sistemi tarafından sürücüye sürücü harfinin atanamayarak, işletim sisteminin kullanıcıya mantıksal olarak sürücüyü gösterememesi durumu:.



Şekil 3.73. Sürücü harfi atanamayan cihaz örnekleri

- Bu durumdaki sürücülere disk yönetiminden sürücü harfi atayarak çözüm sağlanılır.
- ❖ Veri kayıt ortamının şifrelenmesi: kullanıcı tarafından bilinçli yapılabileceği (BitLocker, FileVault, TrueCrypt vb.) gibi cihazların kendisini yetkisiz erişimlerden korumak için alınan önlemlerden de kaynaklanabilir.



Şekil 3.74. Şifreli cihaz örnekleri

- Bu durumdaki cihazlardan veri kurtarmanın en kesin yolu şifrenin öğrenilmesidir. Şifrenin öğrenilmesi mümkün değilse;
 - Elle şifre denenmesi,
 - Kullanılan özel yazılımlar (Passware Kit Mobile, PC-3000 Mobile, Cellebrite Ufed 4PC, Oxygen Forensics, Magnet Axion vb.) vasıtasıyla desen atlanmaya/ pasife alınmaya çalışılmalı ya da kapalı fiziksel adli kopya alınmalı,
 - Yine bu tür yazılımlar ile kaba kuvvet (brute force) saldırısı yapılmalıdır.
- ❖ İşletim sistemlerinin güncellenmesi sırasında veya farklı bir sebeple çökmesi:



Şekil 3.75. İşletim sistemi güncellenmesi sırasında çöken cihaz örnekleri

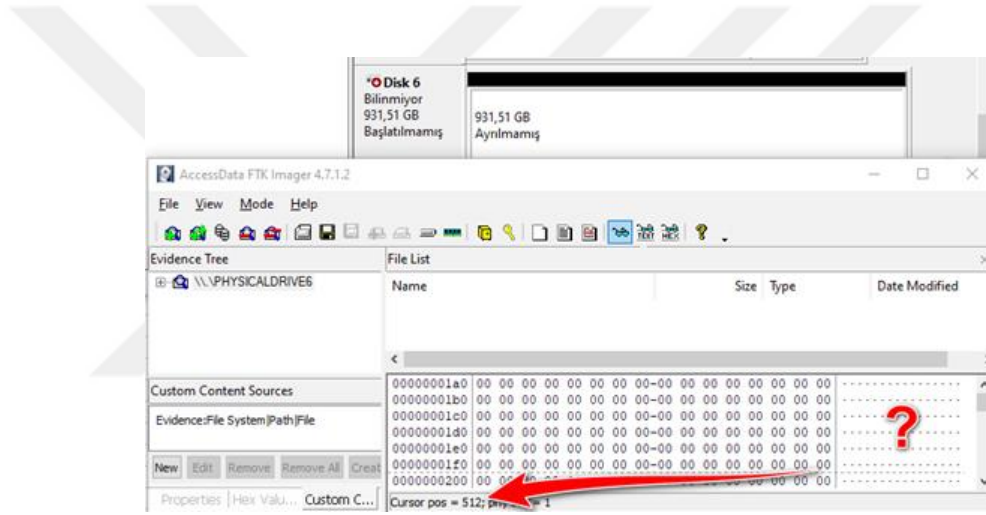
- Bu durumdaki donanımların kullanmış olduğu cihaz bir bilgisayar ise cihazda takılı bulunan diski farklı bir bilgisayar sistemine takarak güvenle veriler

kurtarılır. Windows kullanıcı hesaplarına konulan şifreler vardır ki bunlar veri kurtarmaya veya veriye erişmeye engel değildir, farklı bir bilgisayara depolama birimi takılarak verilere erişilebilir.

Eğer cihaz mobil bir cihaz ise;

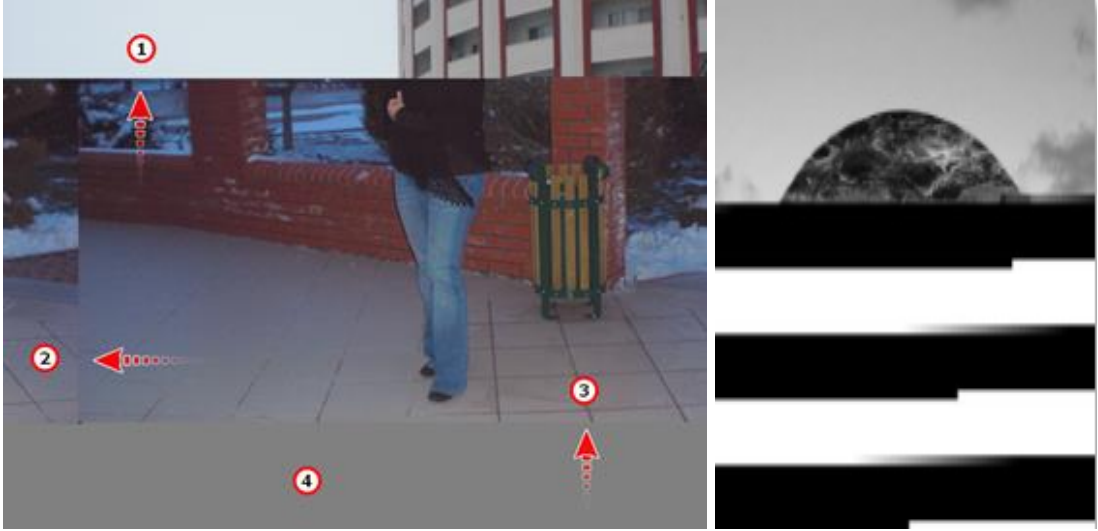
- Stock rom yüklenmesi,
- Cihazın fiziksel bir kopyasının adli bilişim yazılımları ile alınması,
- Adli bilişim yazılımlarının sunmuş olduğu kurtarma seçeneklerini kullanılabilir.

- ❖ Bölüm (partition) tablosunun bozulması: ani voltaj değişimi, güç kesilmesi vb sebepler ile bu tablolar bozulmaktadır.



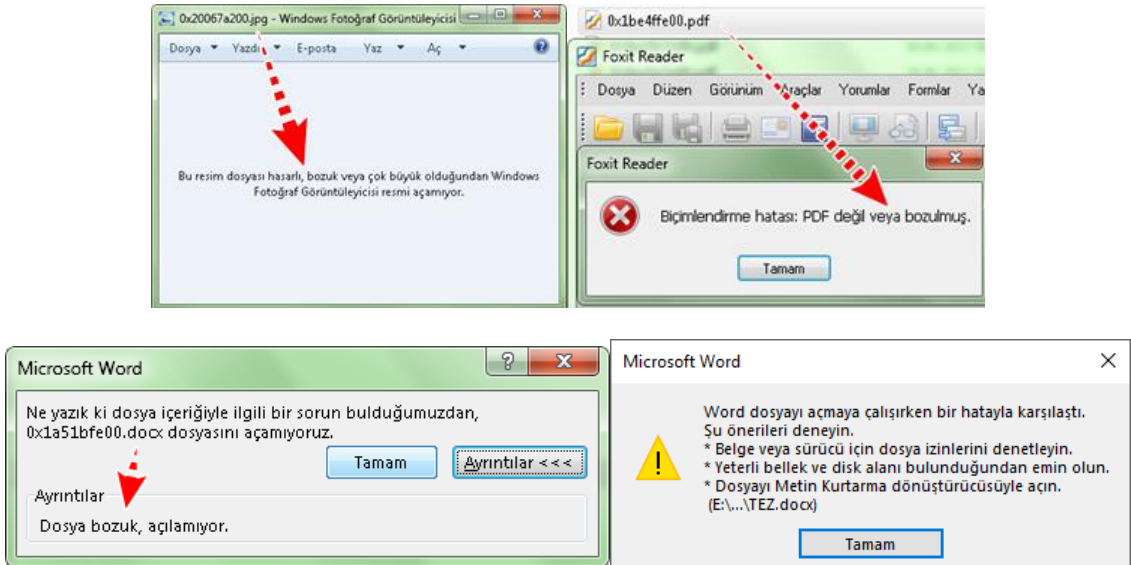
Şekil 3.76. Partition tablosu bozulmuş bir disk

- Bu durumdaki sürücülerdeki verilere erişmek için veri kurtarma yazılımları ile Raw recovery yapılarak dosya sistemi yapılarının bulunmalıdır. Ya da dosya bazlı kurtarma işlemi yapılmalıdır.
- ❖ Veri kurtarma sırasında diskte dağınık (fragmente) olarak kayıt bulunmasında dolayı dosyaların tam olarak veya hiç gelmemesi: Şekil 3.77’den de görüleceği üzere “kurtarılan” dosyalardan ilkinin 4 parçadan oluştuğu diğer fotoğrafın ise yarım olarak kurtarılabildiği görülmektedir.



Şekil 3.77. Fragmente olan dosyaların tam olarak gelmemesi

- Bu işlemin gerçekleştirildiği yazılımın dosya sistemini yapılarını kurtarıp onun üzerinden diskteki dosyaları hiyerarşik olarak (ağaç yapısı) kurtarmasını sağlamak ya da alternatif yazılımları denemek gereklidir.
- ❖ Dosya bozulmaları: dosya işlemleri (taşıma, kopyalama, silme) sırasında kasten veya kazaen gücün kesilmesi, donanımı kaldır seçeneğini kullanmamak.



Şekil 3.78. Bozuk dosya örnekleri

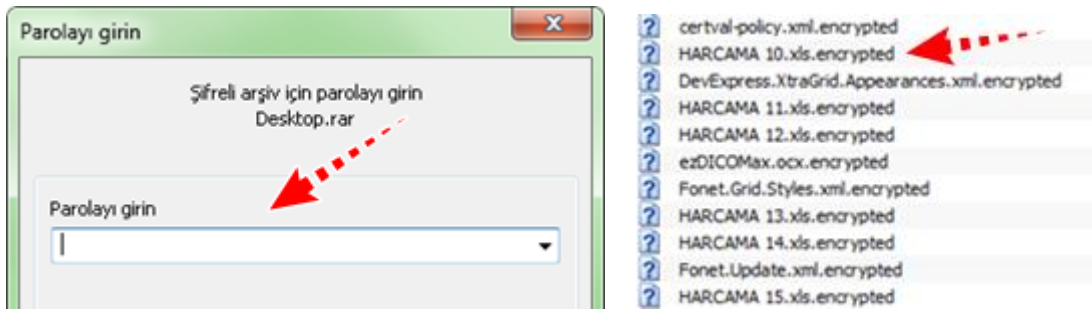
- Şekil 3.77'da anlatılan yöntemler denenmesine rağmen olumlu bir sonuç alınamıyorsa, bilgisayar üzerinde ilgili dosya ile çalışırken otomatik yedekleme

yapılıyorsa, çalışılan dosya türüne göre (Ofis dosyaları için otomatik kaydet gibi) oluşturulan geçici (.tmp) dosyalarının araştırılması neticesinde olumlu sonuca ulaşılabilir. Kurtarılan dosyayı, düzenleyebilecek bir yazılım ile onarılması denenebilir. Yine olumlu sonuca ulaşılmıyorsa kurtarılan dosya üzerinde dosya onarım (corrupt file repair) yazılımlarının (ör. S2 Recovery Tools) denemesi gerekmektedir. Şekil 3.79’te bozuk bir video parçasının onarım öncesi ve sonrası görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 3.79. Onarılmış video örneği

- ❖ Dosyalar üzerinde kasıtlı şifreleme yapılması veya virüsler (ransomware) tarafından şifrelenmesi:



Şekil 3.80. Dosyalar üzerinde şifreleme yapılması

- Bu durumdaki dosyalardan veri kurtarmanın en kesin yolu yine dosyanın şifrenin öğrenilmesidir. Şifrenin öğrenilmesi mümkün değilse kullanılan özel yazılımlar (Passware Kit Forensic, Hashcat, John the Ripper, vb.) vasıtasıyla kaba kuvvet (brute force) saldırısı yapılmalıdır. Eğer bir Ransomware saldırısı ise bu

Ransomware'ın şifresinin çözümlenebilmesi için geliştirebilmiş yazılımlar kullanılmalı (MalwareHunterTeam, 2022; No More Ransom, 2022) veya gölge kopyalar (Shadow Copy - ShadowExplorer) kullanılmalıdır.

- ❖ Nas cihazının anakartının yanması sonucu verilere erişilememesi:



Şekil 3.81. Nas cihazının bozulması sonucu verilere erişilememesi

- Nas cihazındaki Raid seviyesi tespit ettikten sonra (Raid0), bilgisayar ortamında yazılımsal olarak Raid oluşturabilen yazılımlar (PC-3000 Express RAID System, UFS Explorer, Raid Reconstructor, R-Studio, Softcenter Raid Explorer vb.) ile yapı tekrar oluşturulmalıdır.
- ❖ Verilerin kullanıcılar veya virüsler tarafından kalıcı silinmesi (wipe) olarak silinmesi:
 - Daha önce açıklandığı üzere böyle bir durumda verilerin kurtarılması mümkün değildir.

Özet olarak yazılımsal problemlerin temel nedeni, veri kayıt ortamının normal olarak çalışmasına bağlı olarak içeriğindeki dosyaların kullanılamamasından kaynaklanır.

Bu problemler sıralanacak olunursa;

- Dosyaların şifrelenmesi,
- Bölüm (partition) tablosunun bozulması,
- İşletim sistemi tarafından sürücü harfinin atanmaması,
- Dosya sisteminin bozulan diskin RAW'a (ham hale) dönüşmesi
- Dosya işlemleri (taşıma, kopyalama, silme) sırasında bozulmalar,
- İşletim sistemlerinin güncellenmesi sırasında veya farklı bir sebeple çökmesi,

- Dosyaların veri kayıt ortamında dağınık (fragmente) olarak kayıtlı bulunması,
- Veri kayıt ortamının şifrelenmesi (BitLocker, FileVault, TrueCrypt vb.) olarak sıralanabilir.

Veri kayıt ortamlarında (Trim teknolojisi aktif olanlar hariç) dosyaların üzerine veri yazılmadığı (wipe) müddetçe, veriler depolama ortamında durmaya devam edecektir ve verilerin kurtarılma ihtimali vardır.

3.2.2. Donanımsal veri kayıpları

Daha önceki başlıklarda veri depolama birimlerinin yazılımsal ve donanımsal yapılarından detaylı olarak bahsedilmiştir. Bahsedilen bileşenler, veri depolama biriminin sağlıklı olarak çalışmasını sağlamaktadır. Bu bileşenlerden bir veya daha fazlasının arızalanması durumunda cihaz çalışmayacak ve veri kaybı ortaya çıkacaktır.

Donanımsal veri kayıpları; veri kayıt biriminin doğal felaketlere (deprem, sel, toprak kayması, yangın), çevresel etkenlere (elektrik dalgalanması, statik elektriklenme, elektro manyetik etki) ya da sabotaja (asite atılması, ezilmesi, kırılması, suya atılması) maruz kalması sonucu hiçbir şekilde çalışmadığı durumları ifade etmektedir. Kısacası veri kayıt ortamının çalışmasını engelleyecek her türlü bu iç veya dış etken kaynaklı arızaları ifade etmektedir. Veri kayıt biriminin maruz kaldığı bahsedilen etkenler hayatın doğal akışına uygun olarak gelişmiş olabileceği gibi bir kullanıcı veya siber bir suçlu tarafından bilinçli olarak da gerçekleştirilmiş olabilir. Donanımsal veri kayıpları Şekil 3.67'ye göre %40'lık ve Şekil 3.68'e göre %38'lik bir sorun teşkil görülmektedir.,

3.2.2.1. Optik disklerde (medya) veri kayıpları ve çözümleri

Optik yazma-okuma teknolojisini kullanan kayıt disklerinin dış etkenlerden koruyacak herhangi bir kılıfı veya çerçevesi bulunmadığı için kolayca hasar görebilmektedirler.

Çözümlere geçmeden önce, çözümlerde kullanılacak terimleri açıklayalım:

Elektron mikroskobu ile müdahale: elektron mikroskobu kullanılarak optik bir diskin taranmış (scan) parçaları üzerinden elde edilen görüntülerinden bir veri akışı elde edip devamında özel olarak bu iş için geliştirilmiş bir yazılım ile elde edilen veriler anlamlandırılmasıdır (Jarolím, 2016).

Etiketleme ile müdahale: çatlağı olan optik bir diskin çatlak olan kısmın kâğıt bant ya da etiket ile sabitlenmesidir. Burada dikkat edilmesi gereken husus kullanılacak bant ya da etiketin yapışkan özelliğinin çok kuvvetli olmaması gerektiğidir. Aksi takdirde yapıştırılan yüzeyin kaplaması sökülebilir.

Dolgulama işlemi: Optik disk üzerinde derince çizilmişse yüzeydeki çizikleri doldurmak için özel olarak geliştirilmiş optik disk temizleme ve dolgu cihazlarının (Disk Body) kullanılmasıdır.

Zımparalama işlemi: Optik disk da çok derin olmayan çizikler var ise bu kısımlar nemiendirilip çok ince bir zımpara (2000+) ile yeni çiziklere sebep vermeden hafifçe ovalamakla verilere erişilebilir.

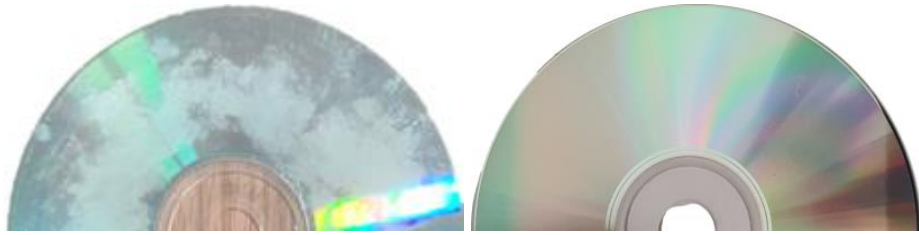
Lazerle ile müdahale: Kırılmış olan optik diskin kırılan yerlerden lazer ile uygun biçimde hasarlı kısım kesilir. Devamında aynı ebatlarda sağlam boş bir optik diskin parçası lazerle kesilerek önceki optik diskten çıkarılan dilimin yerine yerleştirilir. Yansıtıcı yüze ışığı yansıtacak şekilde yapıştırılmalıdır. Herhangi bir kalıntı ve seviye farkının kalmamasına dikkat edilmelidir (Kara, 2013).

Isıl işlem uygulama: Optik disk konkav şeklini almış ise, ısıl işlem uygulayabilen ve vakumlama özelliği olan bir cihazın (LCD Screen Separator) üzerine optik disk yerleştirilir. Optik diskin üzerine uygun ölçüde ağırlık konularak optik diskin orijinal şeklinin almasını beklenmesidir.

Temizleme işlemi: Optik diskin okunacak yüzü kirlenmiş ise ilk önce su altına tutularak üzerindeki katı kirler temizlenmesi ve sonrasında üzerindeki yapışkan veya suyla çıkmayan kirler izopropil alkol veya kolonya kullanılarak ile bir pamuk yardımıyla temizlenme işlemidir.

Optik diskler özelinde donanımsal sorunlar örneklendirilecek olunursa;

- ❖ Optik disk yüzeyinin kirli olması:



Şekil 3.82 Optik disk yüzeyinin kirli olması ve temizlenmiş hali

➤ Disk yüzeyine temizleme işlemi uygulanmalıdır.

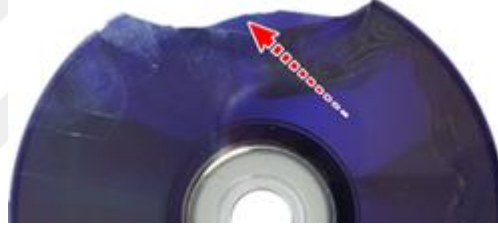
❖ Optik diskte çatlak olması:



Şekil 3.83. Optik diskte çatlak olması

➤ Disk yüzeyine temizleme ve sonrasında etiketleme işlemleri uygulanmalıdır.

❖ Optik diskin kırık olması:



Şekil 3.84. Optik diskin kırık olması

➤ Disk yüzeyine temizleme işlemi ve lazer ile müdahale yapılmalıdır.

❖ Optik diskte hafif çiziklerin oluşması:



Şekil 3.85. Optik medyada hafif çiziklerin olması

➤ Disk yüzeyine zımparalama ve sonrasında temizleme işlemleri uygulanmalıdır.

- ❖ Optik diskte derin çiziklerin olması



Şekil 3.86. Optik diskte derin çiziklerin olması

- Disk yüzeyine dolgulama ve sonrasında temizleme işlemleri uygulanmalıdır.

- ❖ Optik diske veri kaydı sırasında hata oluşması



Şekil 3.87. Optik diske veri kaydı sırasında hata oluşması

- Alternatif marka optik disk okuyucuları denenerek veri kurtarılması denenmelidir.

- ❖ Optik diskin yansıtıcı yüzeyinin aşınması



Şekil 3.88. Optik diskin yansıtıcı yüzeyinin aşınması

- Aşınan kısma ışığı yansıtacak bir malzemeyle kaplanmalıdır

❖ Optik lazerin, optik diski yakması



Şekil 3.89. Optik lazerin optik diski yakması

- Alternatif marka optik disk okuyucuları denenerek veri kurtarılması denenmelidir.

❖ Optik diskin fiziksel şeklinin bozulması



Şekil 3.90. Fiziksel şekli bozulmuş optik disk örneği

- Isıl işlem uygulanmalıdır.
- ❖ Oturumu kapatılmamış optik medyaların üzerine yazılması, silinmesi durumlarında ise optik medyanın mantıksal kopyası alınarak üzerinde yazılımsal veri kurtarma işlemleri yapılmalıdır.
- ❖ Bunların yanında optik diskin, optik disk okuyucusu tarafından tanınmaması durumu için alternatif marka optik disk okuyucuları denenerek veri kurtarılması denenmelidir.

Özet olarak optik disklerdeki problemlerin temel nedeni, optik disk yüzeyindeki problemlerdir.

Bu problemler sıralanacak olunursa;

- Optik disk yüzeyinin kirli olması,
- Optik lazerin optik diski yakması,
- Optik diskin kırılması veya çatlaması,

- Optik diskin fiziksel şeklinin bozulması,
- Optik diske veri kaydı sırasında hata oluşması,
- Optik diskte hafif veya derin çiziklerin olması şeklinde sıralanabilir.

Veri kayıt ortamlarında dosyaların üzerine veri yazılmadığı (wipe) ve veri kayıt ortamı çok büyük fiziksel bir hasara uğramadığı müddetçe, veriler orada durmaya devam edecek ve verilerin kurtarılma ihtimali vardır.

3.2.2.2. Sabit disklerde veri kayıpları ve çözümleri

Sabit diskler için veri kaybı; baskı devre kartı arızaları, baskı devre kartı üzerindeki elektronik elemanların bozulması, diskin çok uzun süre kullanılmadan bekletilmesi/ unutulması sonucunda motor arızaları, motor güç bağlantısını sağlayan flex kabloda deforme olması, baskı devre kartı üzerindeki okuma/yazma kafalarının gerekli işlevlerini yerine getirmesi için mevcut olan pad'lerin kirlenmesi/aşınması, yüzeyde (platter) çizilmeler/ kazınmalar, donanım yazılımı (firmware) arızası sonucu modüllerin okunamaması, okuma/yazma kafalarının kirlenmesi sonucu işlevini yerine getirememesi, okuma/yazma kafalarının disk plakasına (platter) yapışması, okuma/yazma kafalarının kırılması vb. gibi durumlarda ortaya çıkmaktadır (Schroeder ve Gibson, 2007).

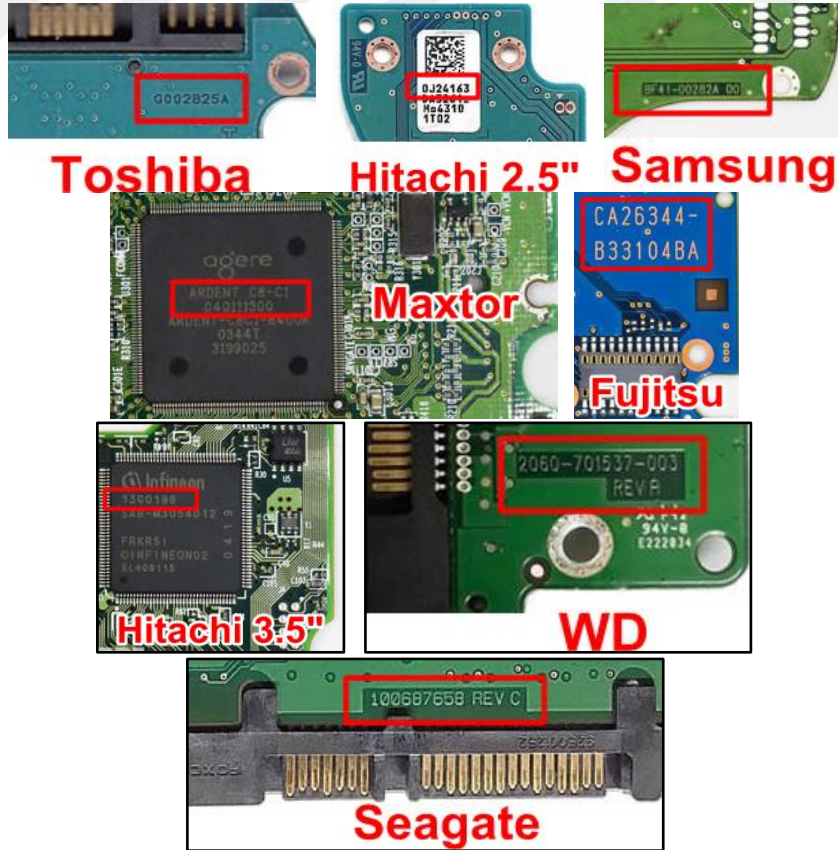
Çözümlere geçmeden önce, çözümlerde kullanılacak terimleri açıklayalım:

Cihazın onarılması: Veri kayıt ortamının normal olarak çalışmasını engelleyici yazılımsal ya da fiziksel arızalarının giderilerek cihazın normal olarak çalıştırılabilmesini ifade eder.

Donör kullanmak: Bir veri kayıt ortamını oluşturan temel bileşenler (baskı devre kartı, hard disk assembly) ile bu bileşenlerin alt birimlerini (baskı devre kartı üzerindeki elektronik komponentler, okuma/ yazma kafası, motor) oluşturan parçaların birinin veya birkaç tanesinin uyumlu ve sağlıklı çalışan veri kayıt biriminden alınarak arızalı veri kayıt birimine taşınması işlemidir. Veri kayıt birimi üreticileri (Seagate hariç), üretim haricinde veri kurtarma işlemleri yapmamaktadırlar. Bu yüzden veri kayıt birimlerine %100 uyumlu donör bulmak için geçerli bir yöntem/ tarif bulunmamaktadır. Bu konuda üretici firmaların herhangi bir yayını veya dokümantasyonu mevcut değildir. Bunun yerine veri kurtarma firmalarının ve veri kurtarma araçları satan firmaların yayınlamış oldukları dokümantasyon veya blog yazılarından faydalanılmaktadır ancak gösterilen kriterlerin

donör bulmada %100 garantili olmadığı da belirtilmektedir. En iyi donör cihazın seri numarası hariç birebir aynısı olmasıdır.

- **Baskı devre kartı (PCB) için donör araştırılması:** Diskin güç bağlantısı yapılmış ve diskten herhangi bir ses ve hareketlenme hissedilmiyorsa arızanın kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Donör araştırılması, kart üzerindeki ilgili numarayı bulup o numaraya göre donör kart aranmalıdır (Donor Drives LLC, 2012). Şekil 3.91’de markalara göre örnek kart numaraları sunulmuştur (HDDZone, 2010). Örneklerden görüleceği üzere PCB numaraları markalara göre farklı standart ve konumlarda bulunmaktadır. Alternatif bir yöntem de hard diskün üretim ailesinin tespit edilmesi suretiyle donör araştırmaktır (Şekil 3.92). Ayrıca arızalı baskı devre kartın donörü bulunduğu zaman direkt olarak kartların değiştirilmesi çoğu zaman yeterli gelmemektedir. Kart üzerinde bulunan, hard diskün sağlıklı şekilde çalışmasını sağlayan donanım yazılımını (firmware) ihtiva eden ve detayları bölüm 3.1.2’de açıklanan rom içerisinde çipinin de taşınması gerekmektedir. PCB’de fiziksel bir arıza gözüküyor, diskten herhangi bir ses gelmiyor ve hareket hissedilmiyorsa arıza kaynağı PCB kaynaklıdır.



Şekil 3.91. PCB markalara göre aranması gereken kriterler

<i>Western Digital</i>			
Minimum gereksinimleri	PCB	Model bilgisinin ikinci bölümünde bulunan ortadaki karakterler. Bu karakterler diskin ait olduğu aile bilgisini belirtir. (Family ID)	WD6400AAKS-65 A7 B0 WD10TMVW-11 ZSM S1
<i>Seagate (Barracuda /F3 Mimarisi)</i>			
Minimum gereksinimleri	PCB	2008 yılı öncesinde üretilen Seagate marka diskler bu mimariyle üretilmiştir. Bu disklerde ROM değişimi yapmak gerekmemektedir. Büyük olasılıkla çip transferi gerekli olacaktır.	ST9640320AS ST31000528AS
<i>Toshiba</i>			
Minimum gereksinimleri	PCB	Çip Transferi çoğu durumda gereklidir.	MK3265GSX MK1017GAP
<i>Samsung</i>			
Minimum gereksinimleri	PCB	Çip transferi / takas veya benzer hizmetler yeni modeller için gerekli olabilir.	HA250JC HM120J1 SV0602H

Şekil 3.92. PCB'ler için uyumluluk kriterleri (Güllüce ve Benzer, 2015)

- Okuma/ yazma kafaları ve motor için donör araştırılması: Tespit edilmesi en kolay arıza türü olmasına karşın işlem hassasiyetinin en üst seviye olması nedeniyle diğer arıza türlerine göre en zor olanıdır. Bunun sebebi Şekil 3.20'ye bakıldığı zaman daha net olarak anlaşılacaktır. Temel belirtisi diskten olağan dışı ses gelmesidir. Diskte bu tür bir arıza varsa, diske güç geldiği zaman “cızırtı”, “tak-tak”, “çıkırt-çıkırt” şeklinde yansıyan seslerin gelmesidir. Bu sesler diskin marka ve modelin göre ve arıza türüne (kafa yapışması, kafa kopması vb.) değişmektedir. Disklerin oluşturduğu bu sesler marka ve türlerine göre kataloglamış Hdd Guru topluluğunun internet sitesinden ([files.hddguru.com/download/Hard Disk Clicking Noise/](http://files.hddguru.com/download/Hard_Disk_Clicking_Noise/)) dinlenebilir. Bazen de hiç gelmeyebilir. Hiçbir ses olmamasına rağmen herhangi bir veri alınmadığı durumlarda kafaların sağlam olup olmadığını test etmek için işletim sisteminden bağımsız olarak disk üretici seviyesinde sinyaller gönderebilen ileri düzey donanımlara bağlanmalı ve bu donanımların yazılımları üzerinden (Atola, Deeppsar, Dolphin Data, MRT Lab, PC 3000, Salvation Data vb.) kafa test komutları ile test edilmelidir. Ayrıca diske uyumlu olmayan PCB takıldığı zaman da bazen bahsedilen bu sesler oluşabilmektedir.

Baskı devre kartı için aranan donör kriterlerine benzer bir şekilde arızalı diske uyumlu bir donör aranmaktadır. Kriterler baskı devre kartındakinden fazla olduğu disklerin fotoğrafları üzerine renklendirilerek gösterilmiştir. Donör kriterleri işaretlenmiş örnek diskler Şekil 3.93'de sunulmuştur.

- **KIRMIZI** – Kesin gerekli.
- **TURUNCU** – Yüksek öncelikli.
- **SARI** - Orta öncelikli.
- **YEŞİL** - Düşük öncelikli.



Şekil 3.93. Donör kriterleri işaretlenmiş örnek diskler (Donor Drives LLC, 2012)

Ayrıca iyi bir donör bulmanın en iyi yöntemlerinden biri Seagate için preamp ve WD için de microjog değerlerine de bakılmasıdır. Ama son kullanıcıların bu değerleri görmesini sağlayacak yazılıma ve donanıma sahip olmadığından bunun yapılması oldukça zordur.

Preamp/ microjog değerleri eşleşirse, kafaların uyumlu olma ihtimali çok fazladır. Seagate için terminalden “ctrl + l” (L) ya da WD diskler için “View Rom Info” komutu verildiğinde disk hakkında Rom üzerinde bulunan birçok değer görüntülenecektir. Bunlardan birisi de Preamtype değeridir. Seagate için örnek olarak bu değerler “CC 16” ya da “B2 03” ya da “CA 05” şeklindedir. Donör olabilmesi için en azından ilk iki karakter bir eşleşme sağlamalıdır.

Kafa değişimleri HEPA filtreler ile temizlenen, toz içermeyen temiz oda (clean room) olarak isimlendirilen özel alanlarda sağlam diskteki kafanın arızalı diske taşınması suretiyle gerçekleştirilir. Bu değişimler için özel donanımlar kullanılmaktadır.



Şekil 3.94. Dış park kafa değiştirme aparatı

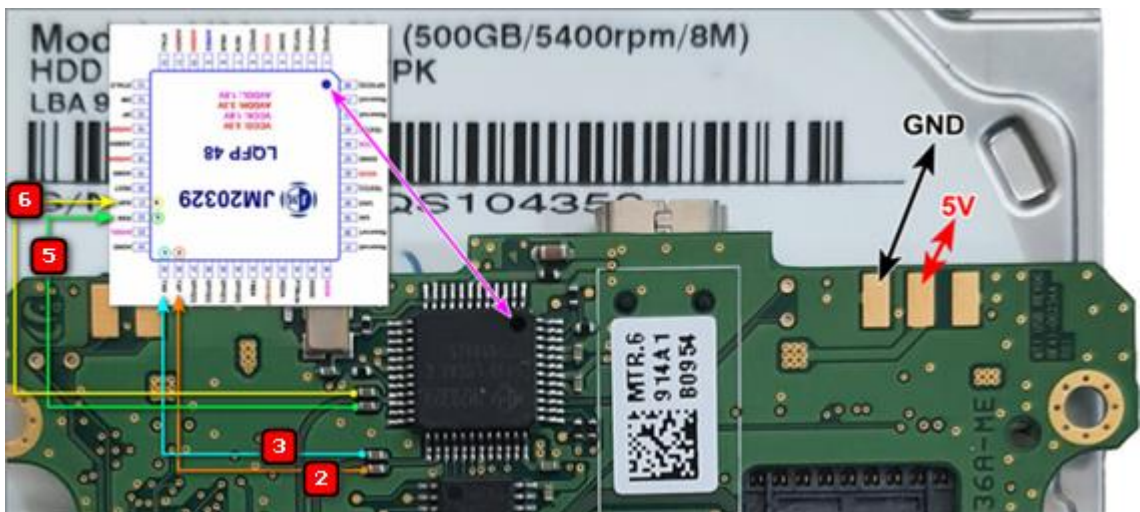
SATA'ya dönüştürmek:

USB arayüzüne sahip hard disklerde;

- Diske elektrik gelirken bilgisayarlar tarafından tanınamaması,
- Veri yollarındaki arızaların soket değişimi ile giderilememesi,
- Sata arayüzü üzerinden daha fazla komutun çalıştırılabilmesi,
- İleri düzey veri kurtarma donanımları ile birlikte kullanılan veri kurtarma yazılımlarının (PC-3000, MRT vb.) ATA ve PIO gibi temel seviye komutları yollamak için Sata bağlantı arayüzüne ihtiyaç duymasından ötürü disklerin Sata arayüzüne dönüştürülmeleri gerekmektedir.

USB disklere Sata arayüzüyle erişmek için iki yol mevcuttur:

Denetleyicinin üretim şemasına (datasheet) bakarak denetleyiciye giden yollardan hangilerinin Sata veri yolları olduğu saptandıktan sonra saptanan o yolları sata soketine lehimlemek birinci yöntemdir. Lehimleme işlemleri USB - SATA köprü devresinin girişindeki kapasitörlerin gerisinden Şekil 3.18'de gösterildiği gibi, veri yolu çıkışlarına göre yapılmalıdır. Elektrik bağlantısı için ise, PCB'ye USB kablo takıldıktan sonra, multimetre diyot moduna (buzzer) getirilir. Proben bir ucu USB kablo ucundan 5V pinine dokundurulduktan sonra PCB üzerinde hangi noktaya karşılık geldiği tespit edilir. Aynı işlem toprak bağlantısı içinde yapılırca PCB üzerindeki elektrik pinleri de tespit edilmiş olur.



Şekil 3.95. USB diskin Sata'ya çevrilirken lehimlenecek noktalar

- Romu taşımak veya rom verisini yazmak suretiyle uyumlu PCB ile değiştirilmesi ikinci yöntemdir. Toshiba, Samsung ve WD marka USB diskler için kullanılabilir uyumlu PCB listesi Çizelge 3.19’da sunulmuştur.

Çizelge 3.19. USB ve SATA PCB uyumluluk listesi (ACELab Europe s.r.o., 2014; Jared, 2016a; 2016b)

	USB PCB No	Sata PCB No		USB PCB No	Sata PCB No
SAMSUNG	100725482	100720903	WESTERN DIGITAL	701605	701499
	100760718	100720903		701615	701499
	100740633	100739392		701635	701572
	100765396	100767980		701650	701499
	BF41-00300A	BF41-00306A		701675	701672, 701609, 771672
	BF41-00365A	BF41-00354A		701737	771692, 771692
	BF41-00373A	BF41-00354A		771754	701692
	BF41-00325A	BF41-00315A		771754	701692, 771692
	BF41-00357A	BF41-00315A		771761	771692
	BF41-00282A	BF41-00249B		771801	771823
TOSHIBA	BF41-00311A	BF41-00315A	771814	771820	
	BF41-00231B	BF41-00157A	771817	771820	
	G3448A	G003235B, G003235C	771859	771852	
	G003309A	G003235B, G003235C	771939	771959	
	G003296A	G003138A, G003235C	771949	771959, 771939	
	G003250A	G003138A	771961	771960, 771933, 771939, 771959	
	G003054A	G002825A	771962	771931, 771959	
	G3959A	G3918A	771964	771983	
	G003189A	G003138A	800038	800025	
	G4330A	G4311A	800041	800022	
G0034A	G4311A	800067	800065		
G0039A	G4311A	800069	800066		
G003296A	G003138A	810003	800065		
G003309A	G003235B	810012-000	800022-002		
G3711A	G3235C				

M.2 veya diğer arayüzlere sahip SSD’leri sataya çevirmek için Şekil 3.96’te sunulduğu gibi özel dönüştürücü kartların kullanılması gerekmektedir.



Şekil 3.96. M.2 veya özel arayüzlere sahip SSD dönüşüm kartları (Acelab Europe s.r.o., 2022a) Hard disk için donanımsal sorunlara aşağıdaki örnekler verilebilir;

- ❖ Motora veya okuma/ yazma kafalarına giden pad'lerin kirlenmesi:



Şekil 3.97. Motora veya okuma/ yazma kafalarına giden pad'lerin kirlenmesi

- İlgili pad'lar fiberglass kalem veya silgi ile temizlenmelidir.

- ❖ Sabit disk veri yolunun kırılması:



Şekil 3.98. Veri yolunun kırılması

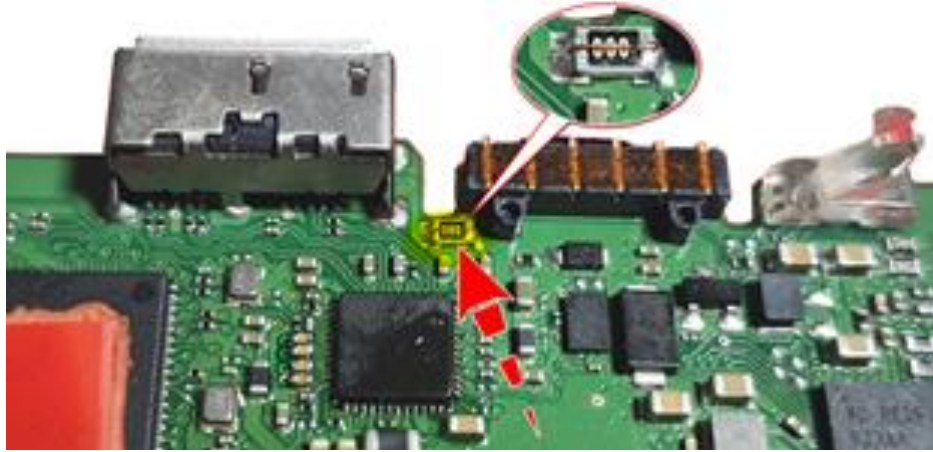
- PCB değiştirilebileceği (rom ile beraber) gibi sadece veri yollarına geçici bağlantılar lehimlenebilir.

- ❖ PCB'den parça kopması:



Şekil 3.99. Parça kopması

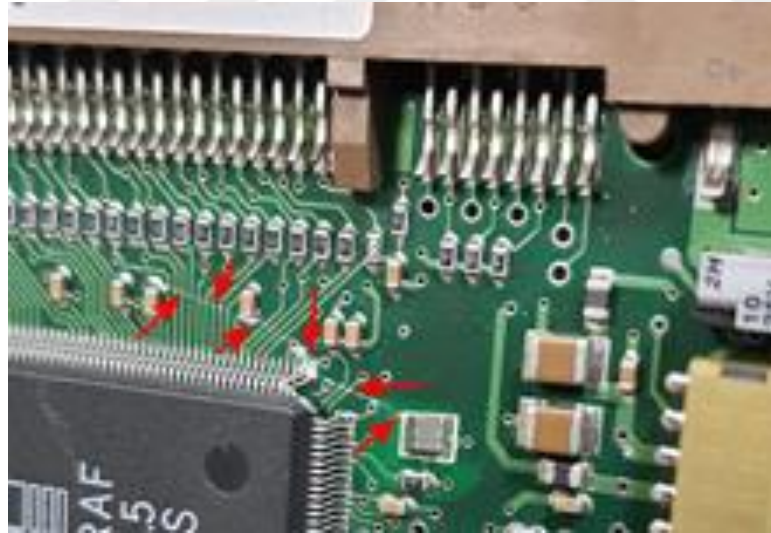
- Parça işlevini yerine getirebiliyorsa yerine lehimlenmeli, işlevini yerine getiremiyorsa donör temin edilmelidir.
- ❖ PCB'deki parçaların işlevlerini yitirmesi:



Şekil 3.100. Sigorta direnci bozulmuş olan PCB

- PCB üzerindeki elektronik parçaların arızalarının giderilmesi gerekmektedir. Şekil 3.100'te sigorta direncinin onarılması için atlama teli kullanılarak bypass edilmesi gösterilmiştir.

❖ PCB'deki yol kopması:



Şekil 3. 101. PCB'deki yol kopması örneği

- PCB onarılabilirse atlama telleri kullanılarak gerçekleştirilmeli, eğer onarılamayacak derece de ise donör temin edilerek PCB değiştirilmelidir.

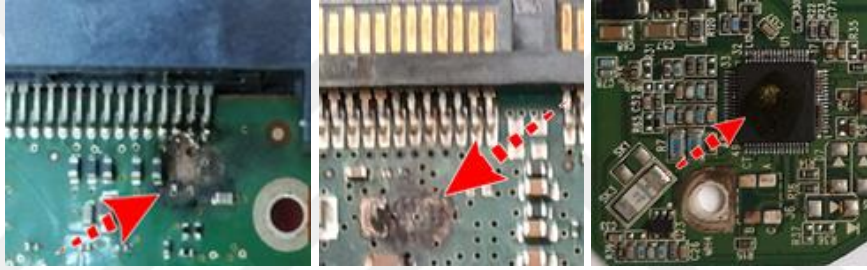
❖ PCB'nin veya hdd metal kasaının ezilmesi:



Şekil 3.102. PCB'nin veya hdd metal kasasının ezilmesi

- Donör temin edilip, rom taşınarak PCB değiştirilmelidir.

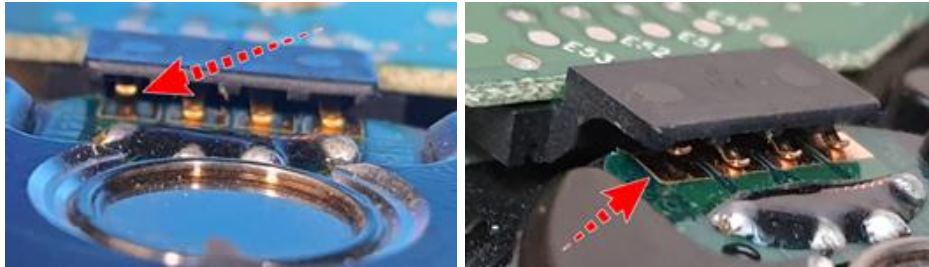
❖ PCB'deki parçaların yanması:



Şekil 3.103. PCB'deki parça yanması

- Donör temin edilerek yanmış parça(lar) değiştirilmelidir. Ani voltaj değişimi nedeniyle genellikle TVS diyotları yanmaktadır.

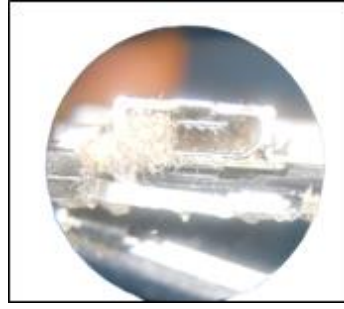
❖ Motora gelen pinin pad'e temas etmemesi:



Şekil 3.104. Motora gelen pinin pade temas etmemesi

- Pinler pad'e temas ettirilmelidir.

❖ Sabit disk USB socketinin tıkanması:



Şekil 3.105. Sabit disk USB soketinin tıkanması

➤ Soket temizlenmelidir.

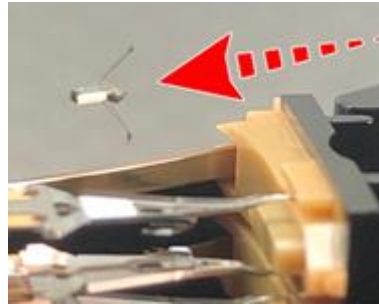
❖ PCB eğilmesi sonucunda içerisinde iç yol kopukluğunun oluşması:



Şekil 3.106. PCB eğilmesi sonucunda içerisinde iç yol kopukluğu

➤ Donör temin edilip, rom taşınarak PCB değiştirilmelidir.

❖ Okuma/ yazma kafasının kopması:



Şekil 3.107. Okuma/ yazma kafasının plattere kopması

➤ Donör okuma/ yazma kafası kullanılmalıdır.

❖ Okuma/ yazma kafalarının bozulması:



Şekil 3.108 Okuma/ yazma kafalarının bozulması

- Donör okuma/ yazma kafası kullanılmalıdır.

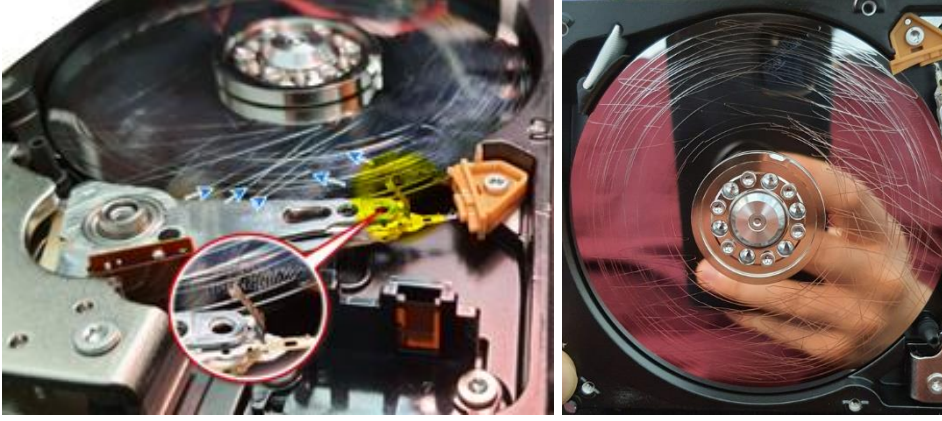
❖ Okuma/ yazma kafalarının yapışması:



Şekil 3.109 Okuma/ yazma kafalarının yapışması ve kafa ayırıcı

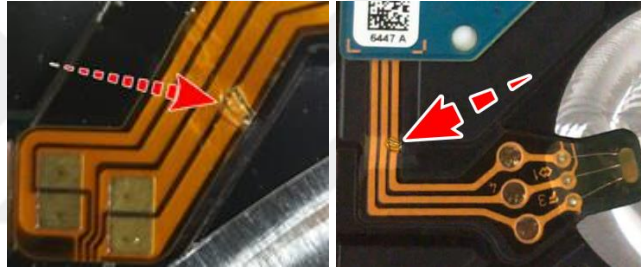
- Kafanın kopması/ yapışması genellikle hava akımının ortadan kalkması, motorun dönmemesi (3.1.2’de anlatılan) nedeniyle oluşmaktadır. PCB kart üzerindeki bir devre elemanının elektriksel kaynaklı olarak yanması durumunda da kafa yapışmaları meydana gelmektedir. Şekil 3.109’de sunulan kafa ayırıcı kullanılarak yapışan kafalar parka taşınmalıdır. Alternatif ve riskli bir yöntem olarak da okuma/ yazma kafaları, platter saat yönünün tersine döndürülürken okuma/ yazma kafasını saat yönünde çevrilerek parka çekilmesidir.

❖ Plakası çizilmiş ve okuma/ yazma kafası kırılmış hdd



Şekil 3.110. Plakası çizilmiş ve kafası kırılmış hdd

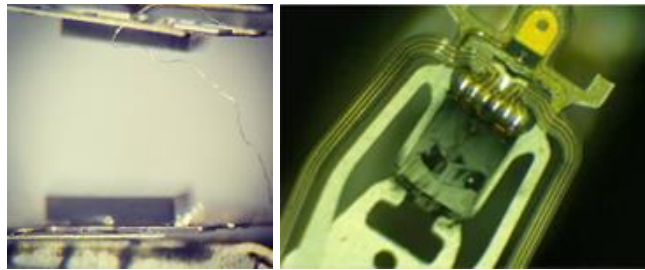
- ❖ Donör temin edilerek kafalar değiştirilmeli, çizik plakanın alt yüzeyi ile diğer plakalardan verilerin alınması denenmelidir.



Şekil 3.111. Motora gelen güç kablosunun kopması

- Güç kablosu lehimlenmeli ya da atlama kablosuyla lehimlenmelidir.

- ❖ Okuma/ yazma kafalarının kirlenmesi



Şekil 3.112. Okuma/ yazma kafalarının kirlenmesi (Tri-State Data Recovery & Forensics LLC, 2020; ACELab Europe s.r.o., 2021)

- Donör okuma/ yazma kafası kullanılmalıdır. Alternatif ve riskli bir işlem olarak da mikroskop altında izopropil alkol ile temizlenebilir.
- ❖ Diskin doğal bir afete maruz kalması veya sabotaja uğraması:



Şekil 3.113. Yanmış DVR cihazı içerisindeki Hdd

- Diskin platter'larına etki edilmediyse donör temin edilerek platter'lar ve rom taşınmalıdır.
- ❖ Diske USB arayüzünden erişilememesi:



Şekil 3.114. USB soketi bozuk diske sata veri yolu yapılmış örneği

- Uyumlu Sata PCB kullanılmalıdır ya da Sata'ya dönüştürülmelidir.

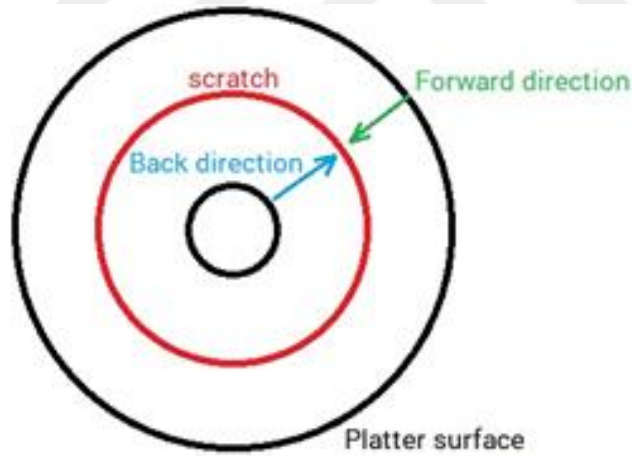
- ❖ PCB’de elektrik akımını engelleyecek/ yönünü değiştirecek materyallerin bulunması



Şekil 3.115. PCB’de elektrik akımını engelleyecek materyallerin bulunması

- İlgili materyalin PCB’den kaldırılması gereklidir.

- ❖ Disk platter’ları üzerinde bölgesel çiziklerin olması



Şekil 3.116. PCB’de elektrik akımını engelleyecek materyallerin bulunması (Acelab Europe s.r.o., 2018)

- Bölgesel çizilmenin olduğu kısımlardan (kırmızı çizgi) veri alınamayacağı için veri kurtarma yazılımı üzerinden diskin ilk sektöründen ileri yönlü bir okuma başlatılmalı, bölgesel çizilmenin olduğu kısımlar geldiği zaman da diskin son sektöründen itibaren geri yönlü bir okuma yapılmalıdır. Bu şekilde çizik bölge atlanmış olacak ve okuma sırasında kafalar zarar görmeyecektir.

❖ Diskin fiziksel olarak hasar alması



Şekil 3.117. Diskin fiziksel olarak hazara uğraması(Recovery HDD, 2018)

- Diskin platter'ları zarar görmemişse platter'lar donör diske taşınmalı.

❖ Uzman olmayan kişilerin arızaya müdahalesi:



Şekil 3.118. Uzman olmayan kişilerin arızaya müdahalesi

- Müdahale edilen parçalar halen sağlamısa cihazın işlemleri doğru şekilde yapılır, parçalar çalışmıyorsa donör temin edilmelidir.

❖ Motorun platter'ı döndürememesi:

- Diskin PCB'sinde herhangi bir arıza ve duyulabilen herhangi bir ses yoksa elektrik verilmesine rağmen disk dönmüyorsa motor arızasından söz etmek gerekir. Uzun süre kullanılmayan ve eski nesil sabit disklerdeki motor yağının işlevini yitirmesiyle meydana gelmektedir. Motor sıcak hava tabancası ile ısıtılması durumunda motor yağı eski işlevselliğini kazanacaktır. Alternatif olarak da platter'lar donör bir sabit diske taşınmalıdır.

Ayrıca hard disk kasası ile PCB'si arasında bulunan yalıtıcı materyal kontrol edilirse PCB üzerinde yanmış veya kısa devre yapmış olan elektronik

malzemelerin bulunmasında, hard disk kasası içerisinde bulunan filtre kontrol edilirse de kafa kopmaları konusunda ipucu verebilmektedir.

Özet olarak sabit disklerdeki problemlerin temel nedenleri, PCB üzerindeki elektronik devre elemanlarından, motordan ve okuma/ yazma kafalarından kaynaklıdır.

Başlıcaları sıralanacak olunursa;

- PCB üzerindeki devre elemanlarının, bozulması, parçalanması gibi elektrik iletkenliğini engelleyici her türlü sebep,
- Platter'larda ve platter'ların dönmesini engelleyici motor kaynaklı her türlü sebep,
- Okuma/ yazma kafalarının işlevini yerine getirmesini engelleyici her türlü sebep olarak özetlenebilir.

Veri kayıt ortamının sağlam olması koşuluyla veri kayıt ortamlarında dosyaların üzerine veri yazılmadığı (wipe) müddetçe, veriler depolama ortamında durmaya devam edecektir ve verilerin kurtarılma ihtimali vardır.

3.2.2.3. Flash bellek kullanan cihazlarda veri kayıpları ve çözümleri

Flash bellek kullanan cihazlar yoğun şekilde günlük yaşamda kullanıldıkları için düşme, ezilme, kırılma, statik elektrik vb. etkilere fazlaca maruz kalıp hasar görebilmektedirler. Karmaşık yapılarından dolayı arızalanmaları durumunda veri kurtarmak sabit disklere göre çok daha zor olmaktadır.

Burada iki temel veri kurtarma yolu vardır:

- Birincisi yol, veriye erişimi engellen sorun giderilerek/ onarım yapılarak verilere erişilmesidir.
- İkincisi yol, birinci yöntem başarısız olmuş veya birinci yöntem uygulanamıyorsa, verilere erişmek için kullanılacak yöntemlerdir. Veri kayıt biriminin sökülmeden, veri çipi cihaz üzerinde iken, Jtag/ Isp/ protokolleri (On-Chip) üzerinden erişmektir.

Eğer "On-Chip" ile veriye ulaşılamamışsa,

- Cihaz şifreliyse,
- Cihazın, sadece veri kayıt birimi mevcut ise,
- Cihazın standarttan farklı bir arayüze sahipse,
- Cihazın donanım yazılımı (firmware) bozmuşsa,

- Cihazın arayüz üzerinden veriye erişilememişse (bozuksa), cihazdan veri kayıt biriminin sökülerek (Chip-Off) eMMC veya Nand arayüzünden erişilmesidir.

“On-Chip” ve “Chip-Off” yöntemleri literatürde flash belleğe doğrudan erişim olarak ifade edilmektedir (Rusolut Sp. z o.o., 2022).

Tam değişim: Cihazın denetleyicisi ile veri çip(ler)inin sağlam olduğuna inanılıyor ve donör mevcut ise denetleyici ile veri çip(ler)i donör cihaza taşınarak da verilere erişilebilir, buna da tam değişim (full swap) denilmektedir.

Jtag/ ISP (On-Chip): JTAG, Joint Test Action Group’un; ISP, In-System Programming kelimelerinin kısaltılmasıdır. Üretimden sonra baskılı devre kartlarının çalışıp çalışmadığı doğrulamak ve test etmek için kullanılan endüstri standartlarıdır. Veri kayıt ortamı çalışmasına rağmen, tüm veriler standart arayüzden alınamıyorsa (fiziksel kopya) ya da cihazın arızası giderilemiyorsa Jtag/ ISP standartları kullanılarak verilerin alınması amaçlanır. Bu işlemin gerçekleşmesini sağlayacak özel cihazlar ve soketler kullanılır. Bu işlemler sırasında veri kayıt ortamının baskı devre kartından herhangi bir parça sökülmez. Veri çipinin etrafında bulunan ve kullanılan Jtag/ ISP cihazının üzerindeki pin noktaları ile veri kayıt ortamının teknolojik test noktaları (pinout) lehimlenerek gerçekleştirilir. Jtag/ ISP cihazının USB bağlantısı üzerinden de mobil cihazın okunan verileri bilgisayar ortamına aktarılır (Johnson ve Christie, 2009). Lehimlenecek Teknolojik test noktaları/ pinout kullanılan Jtag/ ISP cihazı üreticisi tarafından sunulmakta ya da açık kaynaklardan temin edilmektedir. Jtag/ ISP için lehimlenecek pin isimleri Çizelge 3.20’de ve örnek bir ISP bağlantısı yapılmış cep telefonu baskı devre kartı Şekil 3.119’de sunulmuştur.

Çizelge 3.20. Jtag, ISP, UFS lehimlenecek pin isimleri

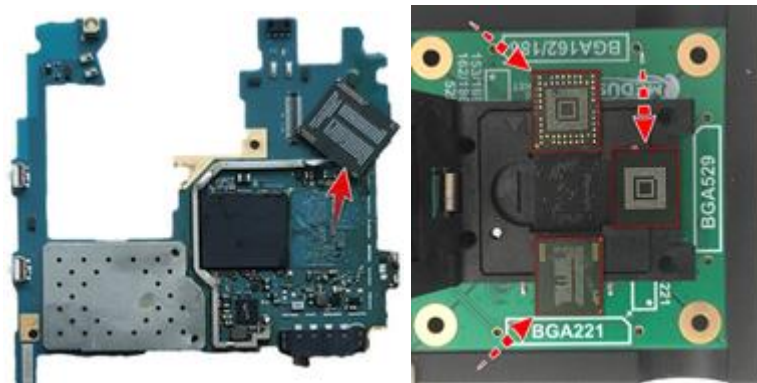
Standart	Pin Adları
Jtag	Gnd, Vcc, Tdi, Tdo, Tclk, Tms, Rtck, Trst
ISP	Gnd, Vcc (2.8V), Vccq (1.8), Clk, Cmd, D0
UFS	Gnd, Vcc (2.8V), Vccq (1.8), Txon (Dino_C), Txop (Dino_T), Rxon (Douto_C), Rxop (Douto_T)



Şekil 3.119. ISP bağlantısı yapılmış bir cihaz örneği

Ayrıca mobil cihazlar özelinde Rooting, Jailbreak, Download modu, EDL modu veya adli bilişim yazılımlarının sunmuş oldukları kapalı fiziksel, dosya sistemi vb. yöntemleri kullanılarak da verilere erişilmektedir (Doğanay, 2019).

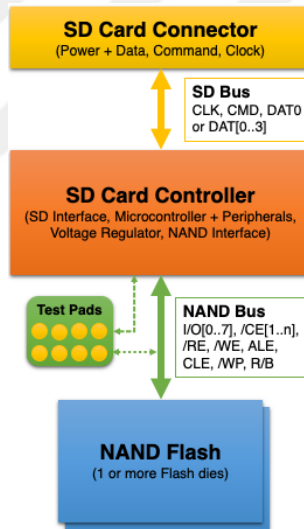
Chip-Off: Bu işlemler için özel üretilen cihazlara Box cihazı denilmektedir. Bir cihazdaki bir bellek çipleri sökülerek, bu çipler için geliştirilmiş özel soketle yerleştirilir. Soket Box cihazına takıldıktan sonra Box cihazının USB bağlantısı üzerinden okunan veriler bilgisayar ortamına aktarılır. NAND bellek kullanan mobil cihazlarda daha önce bahsedilen yöntemlerle verilere erişim sağlanamıyorsa alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Ancak en son yöntem olarak kullanılmalıdır. Android işletim sistemi kullanılan cihazlarda kullanılmaktadır ve Android v6 sürümüne kadar verilere direkt erişim sağlanabilmektedir. Android v6 sonrasındaki çoğu cihazda ise veriler şifreli olarak getirmektedir. Şekil 3.120’de Chip-off yapılmış (veri çipi sökülmüş) bir telefon ve çiplerin okutulma işleminin yapılacağı Box cihazı soketi üzerine konulmuş 3 farklı çip örneği sunulmuştur.



Şekil 3.120. Chip-off yapılmış bir cihaz ile 3 farklı veri çipi

Nand arayüzü kullanılarak erişim: Belleklerin hafıza birimlerinin gömülü olup olmamasına göre; SMD bileşen kullanan bellekler ve yekpare yapıdaki bellekler olmak üzere ikiye ayrıldığı Bölüm 3.1.3.2.1’de ve 3.1.3.2.2’de bahsedilmiştir. Şekil 3.48, Şekil 3.55 ve Şekil 3.56’da da örnekler üzerinden gösterilmiştir. Yekpare yapıda bulunan cihazlardaki Nand belleklerin doğru çalışıp çalışmadığının üretim aşamasında testlerinin yapılabilmesi için üzerlerinde noktalar bulunmaktadır. Bu noktalara pinout, teknolojik pinler ya da teknolojik temas noktaları gibi isimler verilmektedir. Bu noktalar sayesinde bellek üreticileri belleklerin sağlamlığını test edebilirken veri kurtarma firmaları da aynı noktaları kullanarak veri kurtarma işlemleri gerçekleştirebilmektedir.

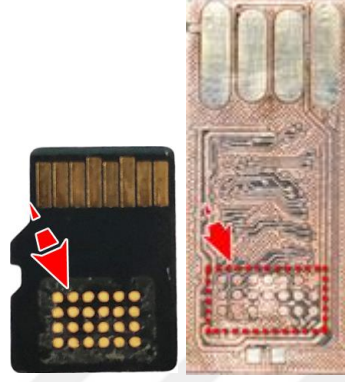
Yekpare yapıdaki cihazlardan veri kurtarmak için teknolojik temas noktalarının/ pionut (Şekil 3.55 ve Çizelge 3.7) kullanılması gerekmektedir. Şekil 3.31’de veri okuma işleminin, flash bellekten denetleyiciye oradan da USB arayüzü üzerinden bilgisayar ortamına geçtiği aktarılmıştı. Denetleyici, Flash bellek ve TTN'ler arasındaki bağlantı Şekil 3.121’te gösterilmiştir



Şekil 3.121. Denetleyici, Flash bellek ve TTN'ler arasındaki bağlantı (Gin, 2020).

Bu bilgiler ışığında, cihazların flash belleğine USB arayüzünden erişilebildiği gibi TTN’ler üzerinden de erişilebileceği sonucuna ulaşılabacaktır. Yekpare yapıdaki cihazlara standart arayüzlerinden (denetleyici üzerinden) erişemediğimiz için veri kurtarma işleminde TTN’ler kullanılmalıdır. Yekpare yapıdaki cihazların TTN’leri ya koruyucu bir katman altında ya da üzeri bir bant ile kapatılmıştır. TTN’lere erişmek için TTN’in üzerindeki koruyucu katmanın fiberglass kalem ya da ilk önce 1000+ sonrasında 2000+ zımparayla kazınması ya da koruyucu bantın çıkarılması gerekmektedir. Zımparalama

nemlendirilerek yapılırsa hem toz kaldırmaz hem de zımpara tıkanmayacağı için kazıma daha hızlı gerçekleşir. Şekil 3.122’te yapışkan bantı çıkarılmış bir micro SD hafıza kartı ve kaplaması kazınmış bir yekpare USB flash bellek (UFD) sunulmuştur. Ayrıca Şekil 3.55’te bir SD kartın TTN’leri de sunulmuştur.



Şekil 3.122. Bantı çıkarılmış microSD ve kazınmış UFD

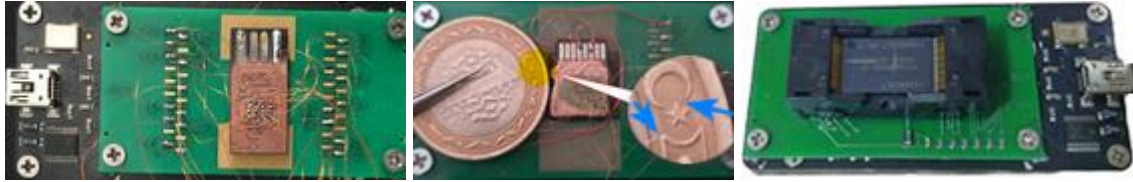
Bu kurtarma işlemi 2 ana aşamadan oluşmaktadır:

Birincisi aşama; TTN’ler görünür hale getirilerek, Çizelge 3.7’de açıklanan sinyallerin özel donanımlar üzerine lehimlenerek veya soketlere takılarak bu donanımın USB bağlantısı üzerinden bilgisayara dump (ham) olarak okutulması işlemidir.

Diğer aşamaya geçmeden önce biraz daha bilgi vermek konunun daha da anlaşılır olması için faydalı olacaktır.

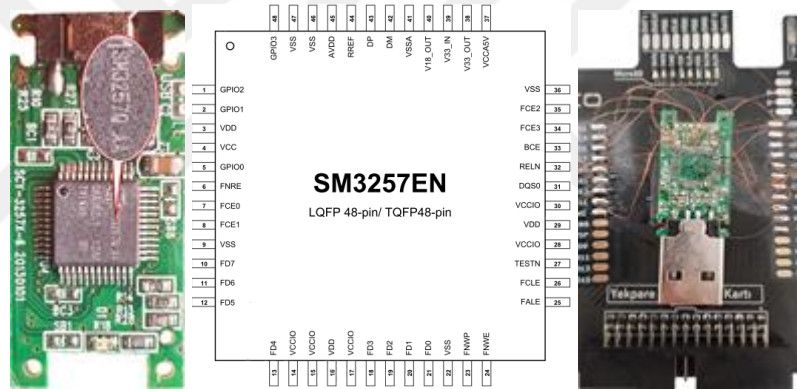
Bölüm 3.1.3.2’de flash bellek dönüştürme katmanı altında anlatılan yapılar (Aşınma dengelemesi, Hatalı blok yönetimi, Yazmadan önce silme kısıtlaması vb.) Daha önce açıklandığı üzere, veri yazma işlemi USB arayüzü üzerinden denetleyiciye oradan da flash belleğe doğrudur. Yani veri kayıtları esnasında flash belleğe denetleyici kendi içerisindeki algoritmaya göre veri yazmaktadır.

İkinci aşama; birinci aşamada okutulan ham verinin veri kurtarma yazılımları (Flash Extractor, PC-3000 Flash, Rusolut) aracılığıyla anlamlandırılmasıdır. Şekil 3.123’de Nand bağlantıları sağlanmış UFD, microSD ve sokete yerleştirilmiş Tsop48 veri çipi örnek olarak gösterilmiştir. Yapılan lehimleme işlemlerinde kullanılan atlama tellerinin (mavi ok ucu) hassasiyetinin anlaşılabilmesi için 1TL ile fotoğrafları çekilmiştir. Örnek anlamlandırma işlemi de Şekil 3.123’te sunulmuştur.



Şekil 3.123. Nand bağlantıları yapılmış cihaz örnekleri

Ayrıca veri çipi paketlenme türleri Şekil 3.42’da gösterilen Cob/Blob olan USB flash belleklerin sökülebilir veya kazınarak TTN’leri ortaya çıkartılabilen nitelikte bir hafıza birimi olmamasından ötürü cihaz üzerindeki sökülebilir tüm devre elemanları (denetleyici de dahil) sökülmelidir. Söküm işleminden sonra denetleyicinin kılavuzu (datasheet) bulunmalıdır. Bu kılavuzdan denetleyici bacaklarının oturduğu pad’lerin çıkış sinyalleri öğrenildikten sonra, yukarıda birinci işlem olarak anlatılan eylemler yerine getirilmelidir.



Şekil 3.124. Cob türünde bir flash belleğin yapılmış NAND bağlantıları

Nand üreticilerine ait olan ID’lerine göre markaları Çizelge 3.21’de sunulmuştur. Bu çizelgedeki markalara göre Retry, power mod gibi özel okuma ayarları gerçekleştirilmelidir. Power mod sadece Tsop çiplerinin okunması için geliştirilmiş bir seçenektir.

Çizelge 3.21. Nand üreticilerine ait olan ID’ler

ID	Marka	ID	Marka
2C	Micron	98	Toshiba
45	Sandisk	AD	Hynix
89	Intel	EC	Samsung

Donanımsal sorunlar örneklendirilecek olunursa;

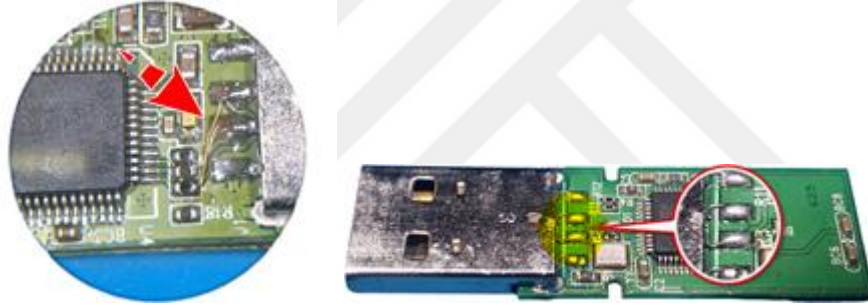
❖ Veri çipinin bacaklarının kopması



Şekil 3.125. Tsop48 veri çipi bacaklarının kopması örneği

- Atlama teli kullanılarak tamir edilmelidir.

❖ USB veri yollarının kopması



Şekil 3.126. USB veri yolu kopması

- Atlama teli kullanılarak tamir edilmelidir.

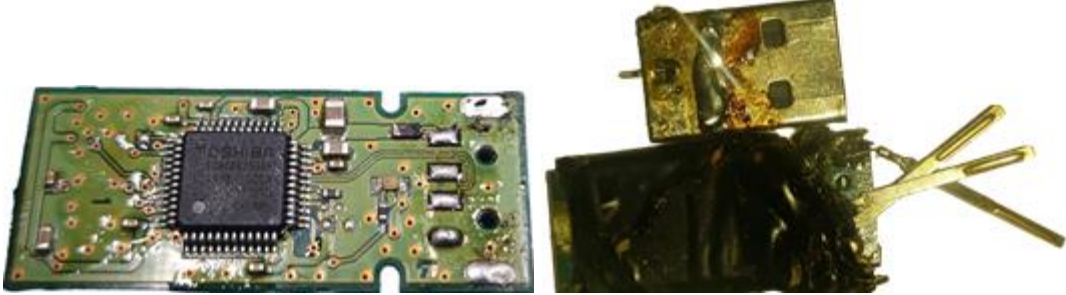
❖ USB PCB'sinin kırılması



Şekil 3.127. USB PCB'nin kırılması

- Şekil 3.41'da belirtilen USB 2.0 bağlantıları lehimlenmelidir.

❖ USB soketin kırılması



Şekil 3.128. USB soketin kırık olması

- Şekil 3.41’da belirtilen USB 2.0 bağlantıları lehimlenmelidir.

❖ USB soket pinlerinin temas etmemesi



Şekil 3.129. USB soket pinlerinin temas etmemesi

- Pinler lehimlenmelidir.

❖ Sigorta direncinin veya kapasitörlerin bozulması



Şekil 3.130. Sigorta direncinin bozuk olması

- Direnç değiştirilmeli veya atlama teli kullanılmalıdır. Kapasitörler değiştirilmelidir. Onarım yapılamamışsa Chip On ya da Chip Off uygulanmalıdır.

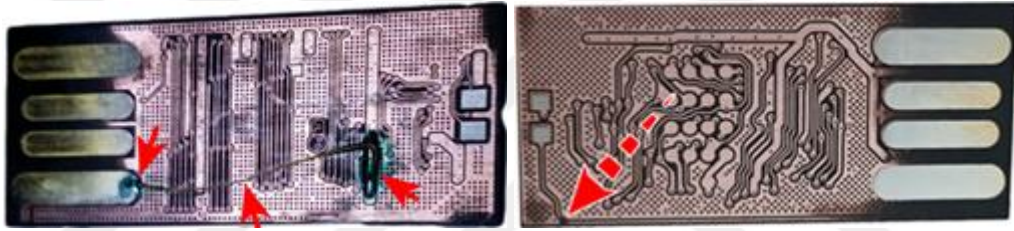
❖ Elektronik devre elemanının parçalanması



Şekil 3.131. Devre elemanının parçalanması/ kaybolması

- Donör bulunarak devre tamamlanabilir ya da şeması bulunarak devre elemanı tespiti yapılarak tamamlanmalıdır.

❖ Gücün (5V) USB flash belleğe ulaşmaması veya iç/ yüzey veri yolunun kopuk yol olması



Şekil 3.132. USB flash bellekte iç ve yüzey yol kopukluğu

- Atlama teli ile gücün ulaşması sağlanılmalı veya kopuk yolun tamiri yapılmalıdır.

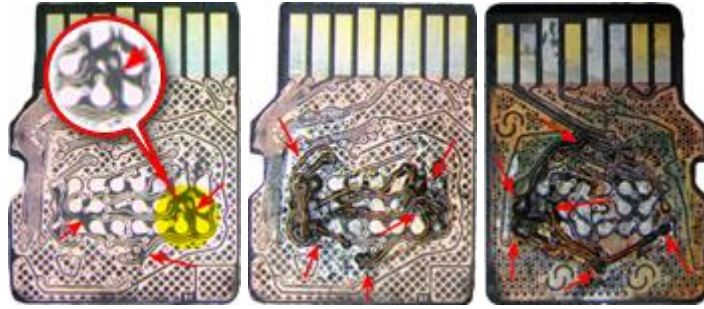
❖ Veri almak için USB flash belleğin çalışması için gerekli ısıya ulaşmaması:



Şekil 3.133. USB belleği soğuma ve ısıtma

- Chip-off'tan önce sıcak hava tabancası veya vantilatör ile denenmelidir.

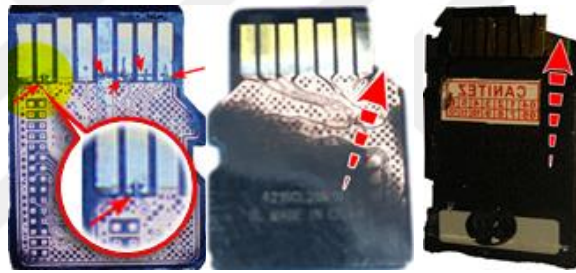
- ❖ Hafıza kartının yüzey yollarının kopuk olması:



Şekil 3.134. Hafıza kartının yollarının kopuk olması

- Atlama telleri ile yollar onarılmalıdır.

- ❖ Hafıza kartı veri yollarının kopuk veya kırık olması:



Şekil 3.135. Hafıza kartı veri yollarının kopuk veya kırık olması

- Bağlantılar tel ile birleştirilmelidir. Ya da veri yolu takip edilerek en son görünen noktadan atlama teli kullanılarak kart okuyucuya lehim atılmalıdır.

- ❖ Hafıza kartı PCB'si üzerindeki devre elemanlarının bozulması:



Şekil 3.136. Hafıza kartı üzerindeki devre elemanlarının bozulması

- Donör bulunarak devre elemanı değiştirilmelidir.

- ❖ SSD veri arayüzünün bozulması ve diyotun bozulması:



Şekil 3.137. SSD veri arayüzünün bozulması

- Veri arayüzü tamir edilmeli ve diyot değiştirilmeli ya da sökülmelidir.

- ❖ SSD PCB'si üzerindeki devre elamanının kopması:



Şekil 3.138. SSD'den parça kopması örneği

- Donör bulunarak ya da şeması bulunarak devre elemanı tespiti yapılarak onarılmalıdır.

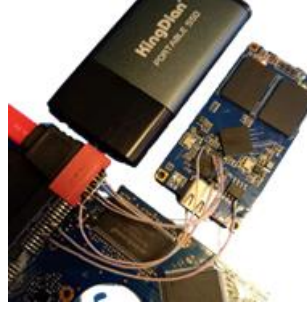
- ❖ M.2 SSD'lerin yanlış sokete takılması:



Şekil 3.139. M.2 SSD'lerin yanlış sokete takılması

- Sokete detayları Şekil 3.61'te sunulan M.2 diskler takılmalıdır

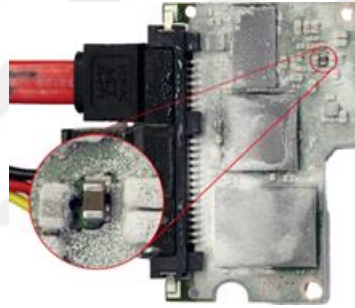
- ❖ USB soketin çalışmaması:



Şekil 3.140. USB soketi çalışmayan SSD örneği (Total-Recovery, 2022)

- Sataya çevrilerek verilere erişilmelidir.

- ❖ PCB üzerindeki devre elemanlarının arızalanması:



Şekil 3.141. PCB üzerindeki devre elemanının arızalanması (ITHOPE s.r.o., 2022)

- Dondurucu sprey ile tespit edilen kapasitör muadiliyle değiştirilmelidir.

- ❖ Sıvı teması sonrası veri yollarının çalışmaması:



Şekil 3.142. M.2 SSD'ye sıvı teması sonrası veri yollarının çalışmaması (ITHOPE s.r.o., 2021)

- Varsayılan arayüzünden erişilemeyen M.2 disk SATA'ya çevrilmelidir.

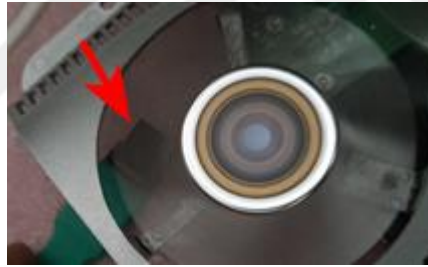
❖ Fiziksel çevre koşulları:



Şekil 3.143. Güç kablosunu ısırılmış bir fare örneği

- Güç kablosu değiştirilmelidir. Çevre koşullarına dikkat edilmelidir. Zaman zaman veri kayıt ortamlarının bulunduğu fiziksel ortamlar kontrol edilmelidir.

❖ Veri almak için hafıza kartının bazen ısıtılması bazen de soğutulması gerekmektedir.



Şekil 3.144. Hafıza kartından veri alınması sırasında soğutulması

- En son işlem olan chip-off'tan önce denenmelidir.

❖ Mobil cihazların veri yollarının kopması, soketlerinin kopması, soket pinlerinin kopması, soketin tıkanması.



Şekil 3.145. Mobil cihazlardaki soket arızaları

- Veri yolları atlama teli ile onarılmalı, kopmalar yeni soket ile değiştirilmesi, tıkanıklıkları giderilmelidir.

- ❖ Mobil cihazların veri yollarındaki devre elemanlarının arızalanması.



Şekil 3.146. Mobil cihazlardaki devre elemanlarının arızalanması

- Donör veya şemasına bakılarak ilgili parça değiştirilmelidir.

- ❖ Mobil cihazların bataryalarının bozulması



Şekil 3.147. Mobil cihazların bataryalarının bozulması

- Harici güç verilmeli ya da yeni batarya alınmalıdır.

- ❖ Mobil cihazların ekranlarının kırılması



Şekil 3.148. Mobil cihazların ekranlarının kırılması

➤ Ekran değiştirilmelidir.

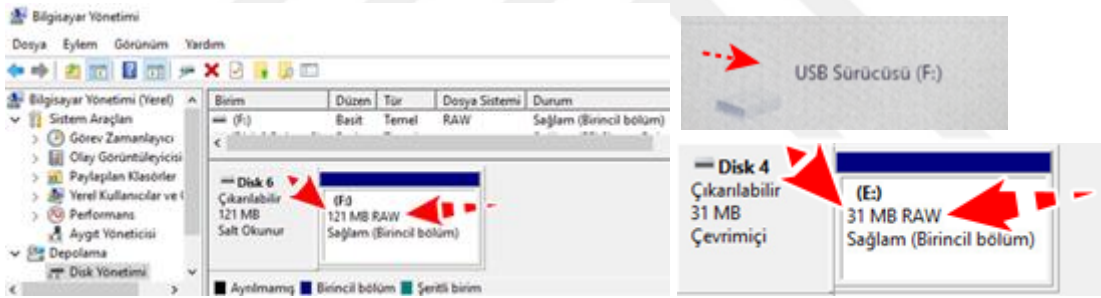
❖ MP3 çalarların soketinin arızalanması



Şekil 3.149. MP3 çalarların soketinin arızalanması

➤ Soket değiştirilmelidir.

❖ USB flash belleklerde veya hafıza kartlarında donanımsal bir arıza olduğu zaman Şekil 3.150’ten de görüleceği üzere kapasite olarak “121MB” veya “31MB” gibi normal kapasitesinin altında bir değer ile bilgisayarın ekranında ise boş bir sürücü gibi gözükmektedir.



Şekil 3.150. Donanımsal arızası olan cihazların bilgisayardaki görünümü

➤ Nand arayüzü kullanılarak verilere erişilmesi gerekmektedir.

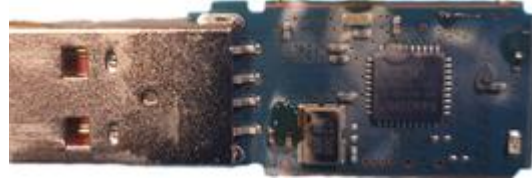
❖ Denetleyicisi zarar görmüş USB flash bellek ve hafıza kartı



Şekil 3.151. Denetleyicisi zarar görmüş USB flash bellek ve hafıza kartı

➤ Nand arayüzünden erişilmesi gerekmektedir.

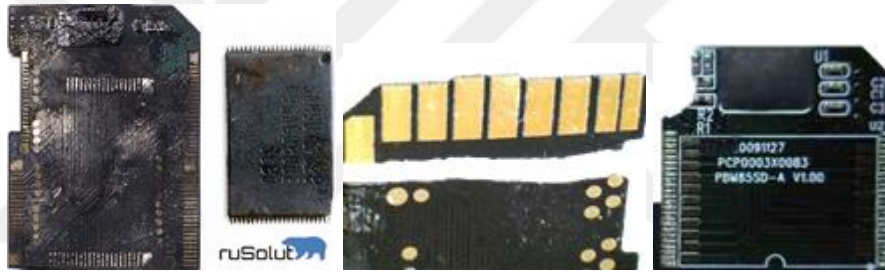
- ❖ Sıvı teması sonucunda oksitlenmiş USB flash bellek



Şekil 3.152. Oksitlenmiş USB flash bellek

- Oksitlenme izopropil alkol ile temizlendikten sonra arızalı devre elemanı varsa değiştirilmelidir. Arıza giderilemiyorsa Nand arayüzünden erişilmesi gerekmektedir.

- ❖ Yanmış hafıza kartı ve PCB'si kırılmış hafıza kartları



Şekil 3.153. Yanmış hafıza kartı (Rusolut Sp. z o.o., 2014a) ve PCB'si kırılmış hafıza kartları

- ❖ Hafıza kartının veya veri çipinin kırık, çatlak veya ezik olması



Şekil 3.154. Kırık, çatlak ve ezik hafıza kartı örnekleri



Şekil 3.155. Kırık UFD ve Tsop48 çipi örnekleri

- Hafıza kartının röntgeni çekilmeli Nand bellekte zarar yoksa Nand arayüzünden veri alınmaya çalışılmalıdır. Genellikle hafıza biriminin ortadan veya çapraz kırılması/ezilmesi durumlarında veri kurtarılması mümkün olmamaktadır.

❖ Hafıza kartı yüzeyinin fazla kazınması



Şekil 3.156. Hafıza kartı yüzeyinin fazla kazınması

- Röntgen çekilip TTN'lerin tam konumlarının tespit edilerek Nand arayüzünden erişim denenmelidir.

❖ SSD PCB'sindeki parçaların yanması



Şekil 3.157. SSD PCB'sindeki parçaların yanması (DataSector, 2022)

- Nand arayüzünden verilere erişilmesi gerekmektedir. Alternatif olarak tam değişim denenebilir.

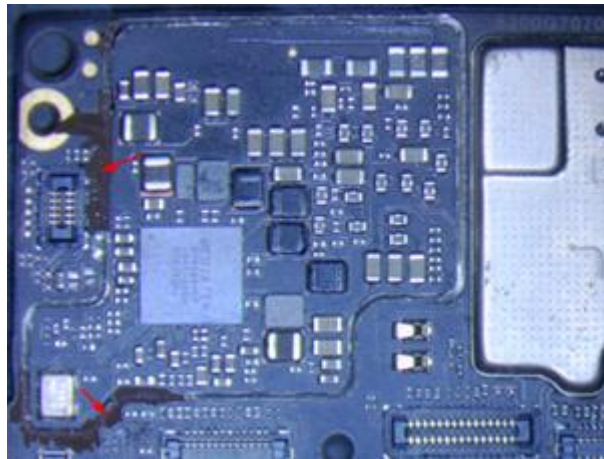
❖ Fiziksel arızası giderilemeyen mobil cihaz



Şekil 3.158. Fiziksel arızası giderilemeyen mobil cihaza uygulanan ISP örneği

- ISP yaparak verilere erişilmelidir. Erişilemezse Nand arayüzünden erişilmelidir.

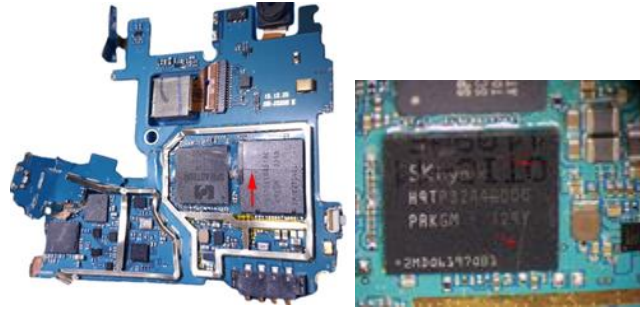
❖ Mobil cihazın PCB'sinde yolların kopması veya koruyucu kaplamasının kalkmış olması:



Şekil 3.159. Mobil cihaz PCB'sinin koruyucu kaplamasının kalmış olması

- Jtag/ISP ve sonrasında Chip-Off denenmelidir.

❖ Mobil cihaz PCB'sinin kırılması, çipin kırılması



Şekil 3.160. Mobil cihaz PCB'sinin kırılması, çipin kırılması

- Röntgen çekilmeli, Nand bellek zarar görmediyse Chip-Off veya Nand arayüzü üzerinden veri alınmalıdır.

❖ Yanmış cep telefonu



Şekil 3.161. Yanmış cep telefonu.

- Jtag/ISP ve sonrasında Chip-Off denenmelidir.

Özet olarak flash bellek kullanan cihazlarda sabit diskler nazaran mekanik parçaların olmaması sabit disklerde sıklıkla karşılaşılan kafa ve motor arızaları gibi mekanik sorunların oluşmasını engellemektedir. Bu rağmen flash bellek kullanan cihazlar günlük yaşamda sürekli taşındığı için (cep telefonu, USB flash bellek, hafıza kart vb.) fiziki etkilerle karşılaşma olasılığı daha yüksektir. Bundan dolayı diğer depolama birimlerine göre yazılımsal arızalardan daha fazla fiziksel arızalar ortaya çıkmaktadır.

Bu arızalardan başlıcaları;

- Veri çipindeki kırıklıklar/çatlaklıklar,
- Bunun yanında cihazın kullanılmasını sağlayan (ekran, dokunmatik gibi) bileşenlerin kırılması/ bozulması,

- PCB'lerdeki devre elemanlarının, bozulması, parçalanması gibi elektrik iletkenliğini engelleyici her türlü sebep şeklinde sıralanabilir.

Veri çipinin sağlam olması koşuluyla, veri kayıt ortamlarında dosyaların üzerine veri yazılmadığı (wipe/trim) müddetçe, veriler orada durmaya devam edecek ve verilerin kurtarılma ihtimali olacaktır.

En nihayetinde, veri kayıt ortamlarındaki fiziksel arızalar, verinin kayıtlı tutulduğu birime ne kadar yakın olursa kurtarma işlemindeki hassasiyet ve zorluk seviyesi de o kadar artmaktadır. Örnek bir kıyaslama ile açıklarsak;

1- Bir USB flash belleğin soketinin kopmuş olması

2- Aynı USB flash belleğin Nand veri çipine normal olarak erişilememesi

Kıyaslama yapılacak olunursa, 1 numaradaki arızanın, soketin değiştirilerek sorunun giderilip verilere ulaşılması 5 dakika sürecektir. Ancak 2 numaralıdaki arızanın giderilmesinde sadece veri çipinin sökülmesi ~5 dakika sürecektir. Daha sonrasında veri çipi ham olarak okutulacak, okutulan veri denetleyici taklit edilerek anlamlı hale getirilmeye çalışılacaktır. Burada ise verinin kurtarılması günler belki haftalar sürecektir. Ayrıca Raid seviyelerinin kullanıldığı cihazlardaki disklerde meydana gelebilecek donanımsal arızalar, eksik disk ile Raid yazılımsal oluşturulamayacağı için yazılımsal arızaları da beraberinde getirecektir.

3.2.3. Yarı donanımsal veri kayıpları ve çözümleri

Veri kayıt biriminin normal olarak çalıştığı hissediliyorsa/duyuluyorsa (dönüyorsa- dolayısıyla PCB sağlamdır), okuma/ yazma kafaları kaynaklı herhangi bir ses gelmiyorsa ve kafalar kontrol edilerek sağlam olduğu görülmüşse donanım yazılımı arızasından (yarı donanımsal arızadan) söz etmek gerekmektedir. Donanım yazılımı (bellenim, firmware) veri kayıt birimini oluşturan elektronik parçaların bir ahenk içerisinde çalışmasını sağlayan kod parçacıkları bütününe verilen isimdir. Bu kod parçacıkları veri kayıt ortamında dosya olarak saklanır ve "modül" isimlendirilmektedirler. Modüller iki ana gruba bölünmüştür. Birinci bölüm, kritik ve değişmeyecek (hard-coded) olan kod parçacıklarını içerir ve cihazın baskı devre kartı (PCB) üzerinde bulunan Rom üzerinde tutulur. İkinci bölüm ise, cihazın servis alanında (SA-Service Area) tutulur ve değişip, genişleyebilir (G-list). Modüllerin bulunduğu

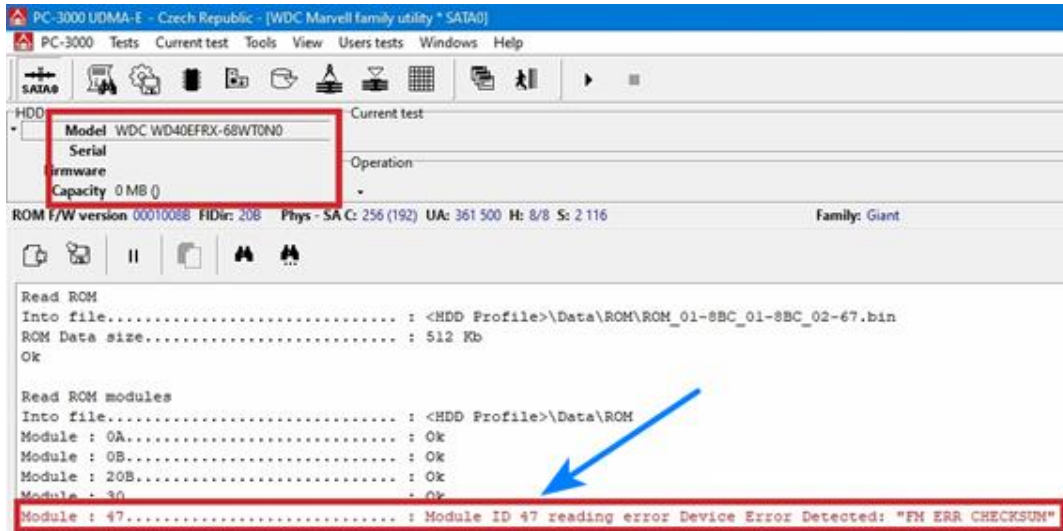
sektörlerin bozulması ya da bunun haricinde şifre kaldırılması gibi modüllere müdahale edilmesi gereken bir durum mevcutsa veri kaybı durumu mevcut demektir.

Sistem alanı, diskin en sık erişim yapılan dolayısıyla en çok kullanılan alanıdır. Sık kullanıldığından dolayı ilgili sektörlerin bozulması durumu oluşabilir. Buradaki arıza, üretici kaynaklı kronik bir sorun olabileceği gibi, cihazın ömrünü tamamlamasına yakın olduğundan da olabilir. Her ne kadar literatürde bahsedilen arızalar, donanım tabanlı olarak belirtilse de (Güllüce ve Benzer, 2015), ortada sağlam /çalışan bir donanım vardır, sadece donanım üzerinde firmware'i oluşturan bir veya daha fazla kod parçacığının çalıştırılmaması durumu vardır. Bu yüzden bu arıza türünün yarı donanımsal olarak ifade edilmesi daha doğru olacağı düşünülmüştür.

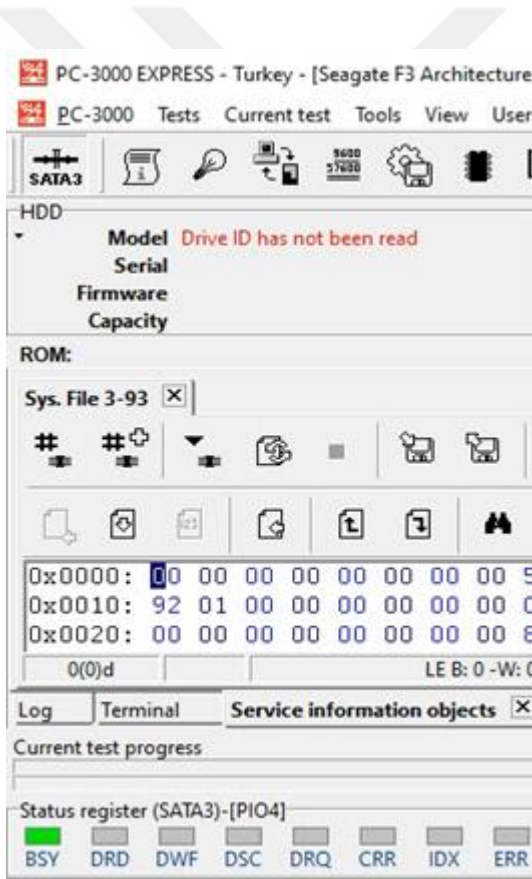
Son kullanıcılar bu modüllere direkt olarak müdahalede bulunamazlar, veri kurtarma işlemleri için özel olarak geliştirilmiş yazılımlar (PC3000, Salvation Data, Atola Insight, v.b.) üzerinden sorun çözümü için diske terminal bağlantısı yapıldıktan sonra modüller üzerinde değişiklik yapılabilmektedir (Şekil 3.162). Örneğin, bir yazılımın lisanslama algoritması, lisans anahtarı üretiminde bilgisayarın kullandığı diskin seri numarasını kullanıyorsa ve disk ilerleyen zamanlarda bozulduğu durumda yeni diskin seri numarasının değiştirilmesi içinde modüllere müdahale edilebilir. Bu müdahaleler esnasında kullanılan veri kurtarma yazılımının sunduğu komut seti ile sınırlıdır. Sorun tespit edildikten sonra üretici firmanın çözüm talimatları doğrultusunda ilerlenmelidir. Yeni nesil üretilen disklerdeki problemlere ait çözümler ancak veri kurtarma yazılım üreticisi firma tarafından problemin kendileri tarafından çözümlenmesine binaen yazılım içerisinde sunulmakta ve nasıl uygulanacağına dair ayrıntılı blog yazıları yazılmakta ve video kayıtları yayınlanmaktadır (ACELab Europe s.r.o., 2022b). Bundan dolayı donanım yazılımı çözümleri için en doğru yöntem yazılım/donanım üreticisi talimatlarının uygulanmasıdır.



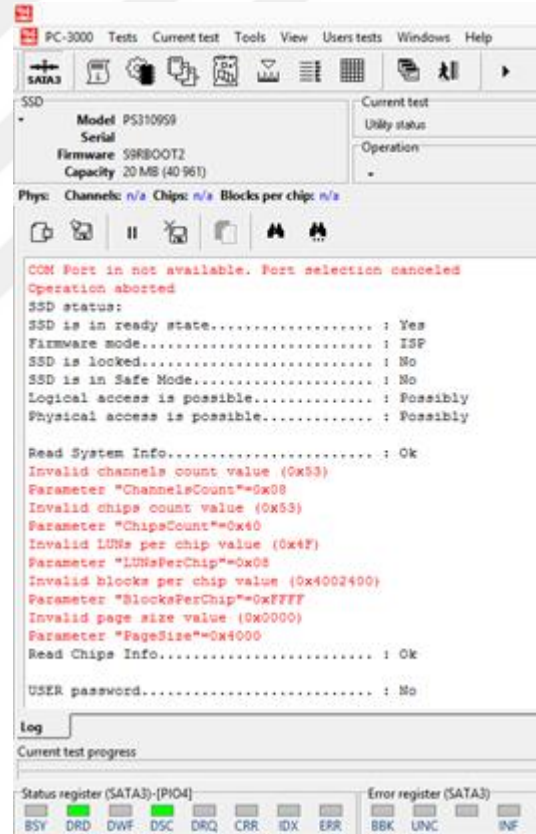
Şekil 3.162. Terminal bağlantısı yapılmış Fujitsu ve Seagate marka diskler



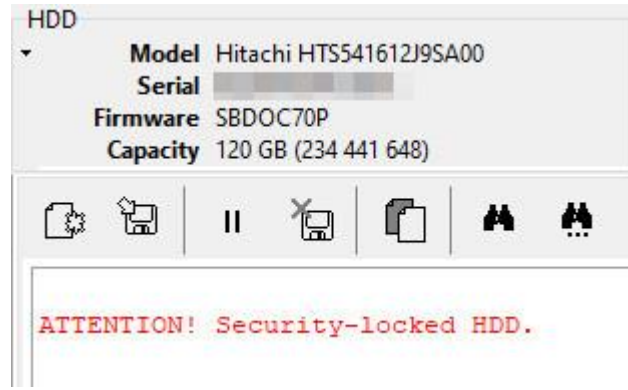
Şekil 3.165. WD diskin 47 numaralı modül arızası (ITHOPE s.r.o., 2019)



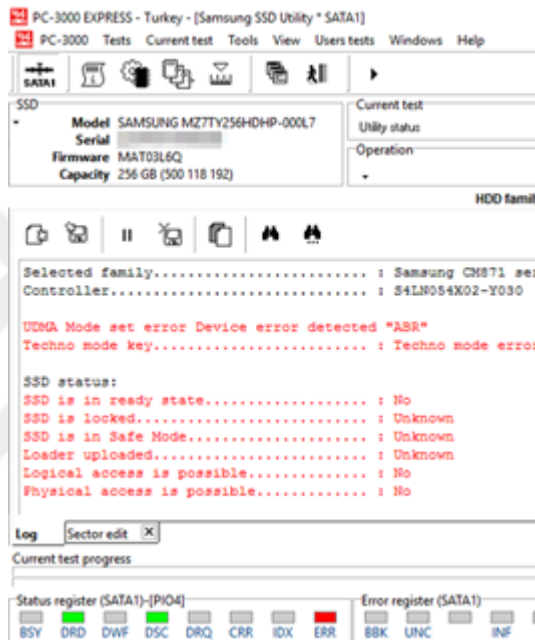
Şekil 3.166. Seagate diskin BSY'de kalması



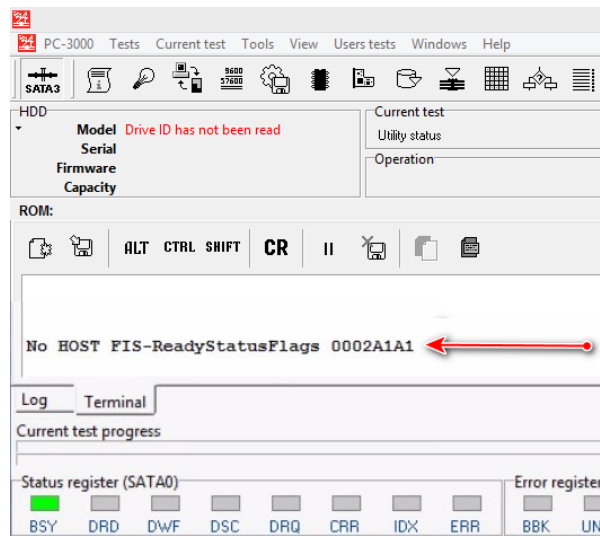
Şekil 3.167. Corsair SSD'nin sektör okumaması



Şekil 3.168. Hitachi diskin şifreli olduğunu gösteren örnek



Şekil 3.169. Samsun SSD'nin sektör okumaması



Şekil 3.170. Seagate marka diskin translator bozulma uyarısı

```

x160 36 55 E3 97 8A 46 F6 64 12 1E 9E 58 75 23 AD E7 6U...F.d...Xu#..
x170 23 0E B0 70 9E 4D 69 B6 F6 78 4B 6E 7A 9B 9C 52 #...p.Mi...xKnz..R
x180 5D DC BE 88 4D 0C DD D2 08 05 F8 9F 77 91 52 A6 ]...M.....w.R.
x190 5D DC BE 88 4D 0C DD D2 08 05 F8 9F 77 91 52 A6 ]...M.....w.R.
x1A0 5D DC BE 88 4D 0C DD D2 08 05 F8 9F 77 91 52 A6 ]...M.....w.R.
x1B0 50 FC D7 81 77 FE 0A C0 73 FC 4E 41 24 C8 3D 0D P...w....s.NAŞ.=.
x1C0 EE AF 61 44 B8 AA 57 08 3C 57 D8 A3 31 1D 56 BF ..aD..W.<W..1.V.
x1D0 5D DC BE 88 4D 0C DD D2 08 05 F8 9F 77 91 52 A6 ]...M.....w.R.
x1E0 5D DC BE 88 4D 0C DD D2 08 05 F8 9F 77 91 52 A6 ]...M.....w.R.
x1F0 4F 9A 8C FC EB 4C C1 A8 2F A8 6C 7C A2 C4 C8 5A 0....L../.1|...Z

```

0(\$00) B : 212 W : 47828 DW : 2898901716 Sector was read successfully

```

x160 07 20 01 70 00 72 01 71 00 0E 07 20 70 70 70 71 g Operating sysc
x170 65 6D 00 4D 69 73 73 69 6E 67 20 6F 70 65 72 61 em.Missing operat
x180 74 69 6E 67 20 73 79 73 74 65 6D 00 00 00 00 00 ting system.....
x190 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
x1A0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
x1B0 00 00 00 00 00 00 2C 44 63 AB 21 05 00 00 00 20 .....,Dc.!.....
x1C0 21 00 07 FE FF FF 00 08 00 00 00 58 37 3A 00 00 !.....X7:..
x1D0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
x1E0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 .....
x1F0 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 55 AA .....U.

```

0(\$00) B : 51 W : 49203 DW : 3499016243 Sector was read successfully

Şekil 3.171. SED bulunan WD diskin şifrenin kaldırılmadan önceki/sonraki sektör okuması

Kullanılan yazılımlarda okutma ayarının doğru olup olmadığının kontrolü disklerdeki 0 sektörde bulunan “55 AA” değeri referans alınarak yapılmalıdır.

Ayrıca flash bellek kullanan cihazların (özellikle USB flash bellek) yazılımsal onarımıyla ilgili olarak Çizelge 3.22’de adresleri verilen internet siteleri üzerinden cihazın donanım yazılımı (firmware) arızalarını gidermek için kullanılacak yazılımları içeren internet siteleri sunulmuştur. Bu yazılımlar veri kurtarmak için değildir. Mevcut verileri görmezden gelip donanım yazılım arızasını giderilerek cihazın kullanılabilmesi sağlanmaktadır.

Çizelge 3.22 Donanım yazılım arızalarını için kullanılacak siteler

Site İsmi

<https://USBdev.ru>
<https://dl.mydigit.net/>
<https://flashboot.ru/iflash/>
<http://vlo.name:3000/ssdtool/>
<https://www.sdcard.org/downloads/formatter/>
<http://www.flashdrive-repair.com/2014/02/best-USB-flash-drive-repair-software-recovery-format.html>

4. GELİŞTİRİLEN CİHAZLAR, ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, tez çalışmasında geliştirilmiş olan donanım ve kablolar örnekler üzerinden ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır. Tez süresi boyunca gerçekleştirilen veri kurtarma işlemlerinin istatistiki bilgisine yer verilecektir. Ayrıca veri kaybı durumunda izlenmesi gereken işlem adımları sunulacaktır.

Optik ortamlar üzerinde gerçekleştirdiğimiz ve detay bilgileri Çizelge 4.1’de sunulan 190 adet optik cihazdan veri kurtarma işlemleri sonrasında 146 adetinden veri kurtarıldığı 44 adetinden ise veri kurtarılamadığı görülmüştür.

Çizelge 4.1. Optik disk veri kurtarma araştırma sonuçları

Sorun	Tür	Optik Disk Sayısı	Yapılan İşlem	Veri Alındı mı?
Dosyalar kopyalanamıyor	CD	6	Dosya bazlı adli kopya oluşturma	Evet
Çatlak	DVD	18		
	CD	1	Etiketleme	Evet
Hafif çizik ve lekeli	CD	22		
	DVD	12	Temizleme	Evet
Orta düzey çizik ve lekeli	CD	29		
	DVD	24	Dolgulama ve Temizleme	Evet
Derin çizik	CD	5		
	DVD	8	Zımparalama ve Temizleme	Evet
Şekil bozukluğu	CD	1		
	DVD	2	Isıl işlem uygulandı	Evet
Verilerin Okunamaması	DVD	18	Farklı okuyucu ile okuma	Evet
	CD	5		
Kırık	DVD	2		
	Blu-ray	4		
Yansıtıcı kısmı sökülmiş	CD	6		
	DVD	4	Temizleme, Zımparalama, Dolgulama	Hayır
Çok derin çizik	CD	1		
	DVD	6		
Yapıştırıcı ile kaplanmış	CD	11		
	DVD	5		

Optik disklerde yapılan dosya kurtarma işlemleri sırasında; 24 adet optik diskte bulunan dosyaların Dosya Gezgini (Explorer.exe) ile kopyalanamadığı dosya bazlı adli kopya oluşturma işlemiyle (FTK Imager) verilerin kurtarılabildiği görülmüştür.

Sabit diskler ile katı hal diskleri üzerinde gerçekleştirdiğimiz ve detay bilgileri Çizelge 4.2’de sunulan 324 adet veri kurtarma işlemleri sırasında 129 adetinin donanımsal, 29 adetinin donanımsal ve yarı donanımsal, 22 adetinin donanımsal ve yazılımsal, 86 adetinin yarı donanımsal, 1 adetinin yarı donanımsal ve yazılımsal, 57 adetinin de yazılımsal olduğu gözlemlenmiştir. Gerçekleştirdiğimiz 324 adet veri

kurtarma işlemi sırasında 3.2.2.2’de anlatılan yöntemler uygulandığında 277 adetinden verilerin kurtarıldığı görülmüştür.

Çizelge 4.2. Gerçekleştirilen veri kurtarma işlemlerinde karşılaşılan arıza türleri

Arıza Türü	Adedi
Donanımsal	129
Donanımsal ve yarı donanımsal	29
Donanımsal ve yazılımsal	22
Yarı donanımsal	86
Yarı donanımsal ve yazılımsal	1
Yazılımsal	57
Toplam	324

Çizelge 4.3. Tüm arıza türlerindeki genel veri kurtarma durumu

Durum	Adedi
Veri kurtarımı yapılan	277
Veri kurtarımı yapılamayan	47
Toplam	324

Çizelge 4.4. Sadece donanımsal kaynaklı arızalardaki veri kurtarma durumu

Durum	Adedi
Veri kurtarımı yapılan	72
Veri kurtarımı yapılamayan	47
Toplam	129

Çizelge 4.5. Markalara göre karşılaşılan donanımsal arıza türleri

Arıza Türü / Marka	HGST	Hitachi	Kioxia	Samsung	Seagate	Sk Hynix	Toshiba	WD	Toplam	Veri Alanın Disk Sayısı
Kafa arızası	2	4		12	30		3	20	71	
Kafa zayıflaması				4	9		3	5	21	
Motor arızası				1	5		4	1	11	
PCB arızası	1		1	6	8	1	1	5	23	
Platter arızası							1		1	
USB soket bozulması								1	1	
Yanmış								1	1	
Toplam	3	4	1	23	52	1	12	33	129	

Çizelge 4.6. Sadece PCB arızalarında veri kurtarma durumu

Durum	Adedi
Veri kurtarımı yapılan	18
Veri kurtarımı yapılamayan	5
Toplam	23

Çizelge 4.7. Kafa arızalarında veri kurtarma durumu

Durum	Adedi
Veri kurtarımı yapılan	39
Veri kurtarımı yapılamayan	32
Toplam	71

Arızalı bir diskteki okuma/yazma kafalarının değişimi için 3.2.2.2’de Donör kullanmak başlığı altında gerekli kriterler anlatılmıştır. Ancak gerçekleştirdiğimiz bir

olayda sağlam donör disk temin edilememesi üzerine benzer özelliklere sahip olan diskten okuma/ yazma kafaları alınarak arızalı diske taşınmış diskin başarıyla çalıştığı görülmüş ve veriler alınmıştır. Bu da belirtilen kriterler dışında da donör disklerin olabileceğini göstermiştir. Örnek olarak gerçekleştirdiğimiz bir kafa değişimine ait olan disk bilgileri şu şekildedir (Şekil 4.1):

Arızalı disk bilgileri:

WD3200BEVT-26A23T0 – 18 NOV 2010 – Thailand – DCM: HHCVJABB

Donör disk bilgileri:

WD3200BPVT-80ZEST0 – 21 MAR 2011 – Malaysia – DCM: HHMTJHB



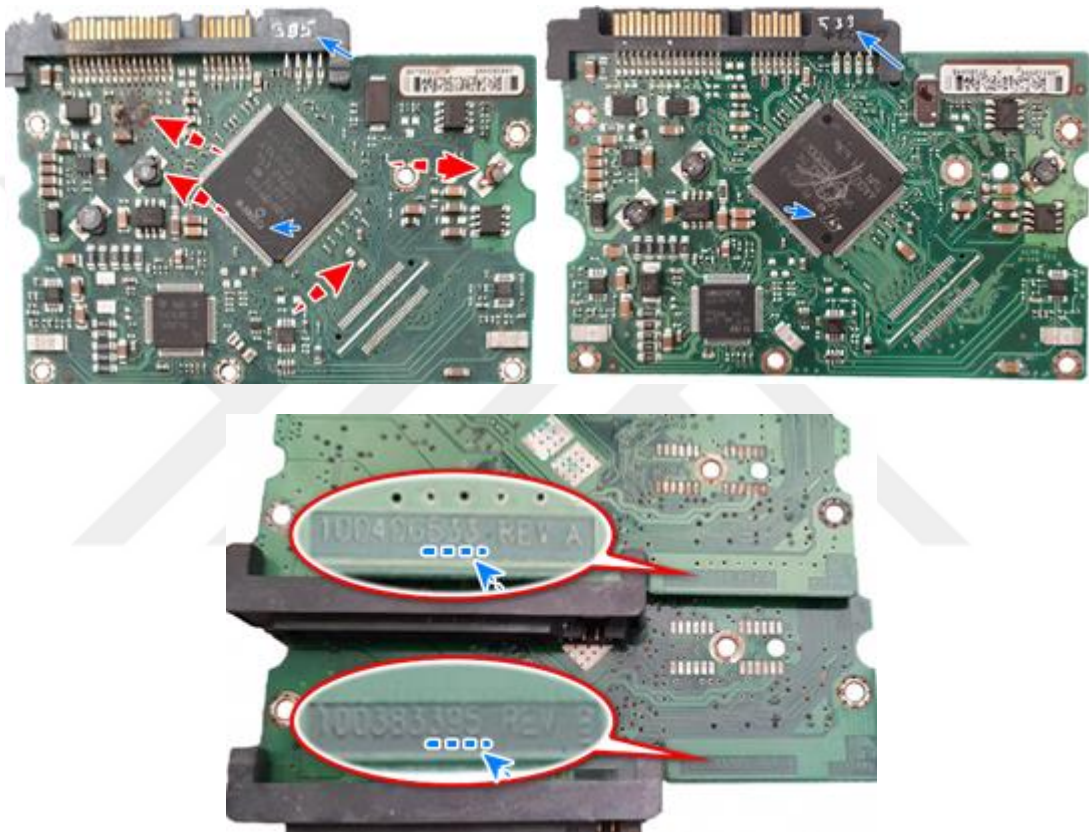
Device	Mode
Model WDC WD3200BEVT-26A23T0	Copy data to
Serial WD-WX71AB0F6240	Operation
Firmware 01.01A01	
Capacity 298.09 GB (625.142.448)	

Task statistics		
Service		
146 908 160	Sector was read successfully	
0	Sector decrypted	
478 143 010	Sector was read using utility	
0	Sector has been modified	
0	Sector was read with an ECC er	
0	Sector has been read without C	
79 057	Sector was skipped during scar	
12 221	An error prevented sector readir	
0	Sector was not read because ol	
0	Sector was not read	

Şekil 4.1. Kriterleri uyuşmamasına rağmen donör olarak uyumlu olan diskler

Bir sabit diskin arızalı PCB'si üzerinde bulunan devre elemanlarının değişimi ile çözüme ulaşılamaması ve donör PCB temin edilememesi üzerine; farklı işlemci (ST -

agere) kullanan ancak vida delikleri uyumlu ve kullanılan devre elemanlarının benzer olduğu bir PCB'ye rom taşınması sonucunda diskin başarıyla çalıştığı görülmüş ve veriler alınmıştır. Bu da belirtilen kriterler dışında da donör baskı devre kartlarının (PCB) olabileceğini göstermiştir. Gerçekleştirdiğimiz baskı devre kartı değişimine (Arızalı PCB No: 100383395 Rev B – Donör PCB No: 100406533 Rev A) ait olan Şekil 4.2 sunulmuştur. PCB de vida deliklerinin uyumlu olması PCB donör uyumluluğu konusunda referans olabilir.



Şekil 4.2. Kriterleri uyuşmamasına rağmen donör olarak uyumlu olan PCB'lerin iç ve dış yüzü

4.1. Sata Dönüşüm Kartı

USB köprüsü (USB to Sata Bridge) entegresinin Sata dönüşümü için gerekli olan bilgilerine (datasheet) bir nedenden dolayı ulaşamıyor ancak Sata dönüşümü gerçekleştirilmesi gerekiyorsa; Çizelge 4.8'te verilen PCB'ler üzerinde yaptığımız araştırmalar neticesinde Sata veri yollarının bulunması için şöyle bir yöntemin izlenebileceği kanaatine varılmıştır.

Yapılacak işlemler:

USB köprüsü PCB'nin iç yüzeyinde ise;

- 1- PCB denetleyicisinin (Main hdd controller) birinci bacağı bulunur.

USB köprüsü PCB'nin dış yüzeyinde ise;

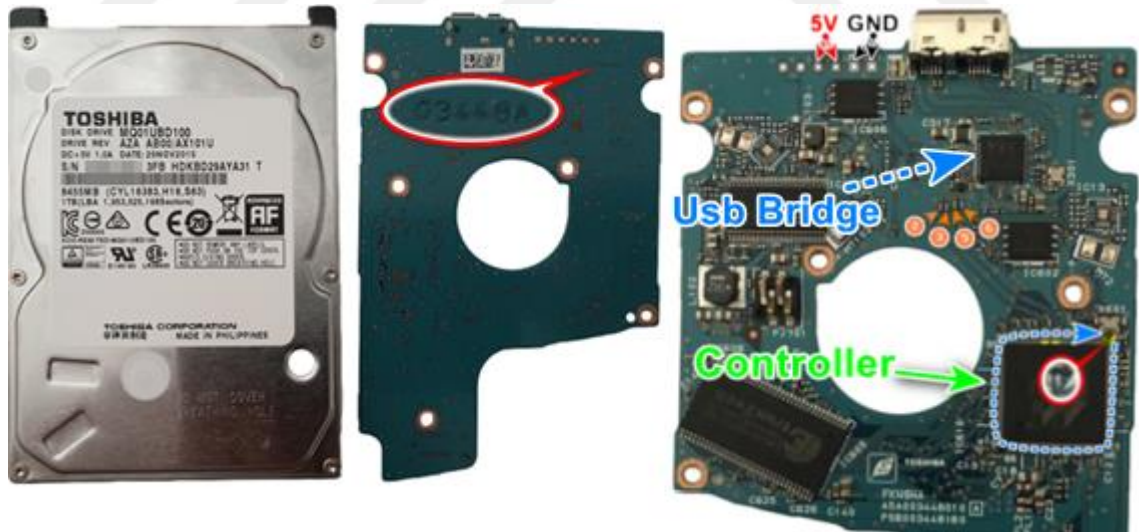
- 1- USB köprüsünün (Sata to USB Bridge) birinci bacağı bulunur.
- 2- Birinci bacaktan itibaren entegrenin bacakları üzerinde saat yönünde ilerlenir, (istisna olarak PCB nosu BF41-00235B olan kart için saat yönünün tersi)
- 3- Bu ilerleme esnasında entegreden çıkan ve yan yana ilerleyen 4 yol sırasıyla 2, 3, 5, 6 olarak işaretlenir.
- 4- Bu yollar Sata soketindeki karşılıkları ile lehimlenir.

Çizelge 4.8. Araştırmada kullanılan USB arayüzüne sahip sabit disklerin bilgileri

Marka	Model	Kapasite	PCB No	Cap. No	USB Bridge	İşlemci
Samsung	HM251JX	250GB	BF41-00235B*		JM20329	88i6726S-TFJ2
	HM500LX	500GB	BF41-00234A REV 01		JM20329	88i6726S-TFJ2
	HM502JX	500GB	BF41-00288A 01		JM20339	88i8823-TFJ2
	ST1000LM025	1TB	BF41-00282A 00		JM20329	88i8823-TFJ2
	ST1000LM025	1TB	100725482 00		JMS567	88i9422-NDB2
	ST1000LM025	1TB	100725482 01		JMS567	88i9422-NDB2
	ST1000LM025	1TB	100760718 REV C		JMS577	88i9422-NDB2
	ST1000LM025	1TB	BF41-00373A 00		JMS539	88i9322-TFJ2
Western Digital	WD5000BMVW-11GNWS0	500GB	2060-771754-000 REV A	C13 C18 C31 C37 C13	iNiC-1607E	88i9146-TFJ2
	WD5000BMVW-11GNWS0	500GB	2060-701675-004 REVP1	C18 C31 C33 C92	iNiC-1607E	88i9045-TFJ2
	WD5000BMVW-11AMCS0	500GB	2060-771737-000 REV A	C93 C91 C90 C13	SW6316-3VB14	88i9146-TFJ2
	WD10JMVW-11AJGS1	1TB	2060-771961-001 REV A	C18 C31 C37 C13	iNiC-3608PN	88i9446-NDB2
	WD10JMVW-11AJGS2	1TB	2060-771961-001 REV A	C18 C31 C37	JMS569	88i9446-NDB2

	WD10SMZW-11Y0TS0	1TB	2060-800069-001 REV P1		JMS579	88i1053-NXZ2
	WD10TMVW-11ZSMS4	1TB	2060-771761-001 REV P1	C13 C18 C31 C37 C13	JMS538S	88i9146-TFJ2
	WD20NMVW-11EDZS7	2TB	2060-771961-001 REV B	C18 C31 C37 C13	ASM1151W	88i9446-NDB2
	WD20NMVW-11W68S0	2TB	2060-771801-002 REV A	C18 C31 C37	JMS538S	88i9346-TFJ2
	WD20SMZW-11YFCS0	2TB	2060-800067-201		JMS579	88i1053-NXZ2
	WD40NMZW-11GX6S1	4TB	2060-800041-003 REV P1		ASM1151W	88i1047-NDB2
Toshiba	MQ01UBD100	1TB	G3448A		VL701-Q4	88i9317-RAT2

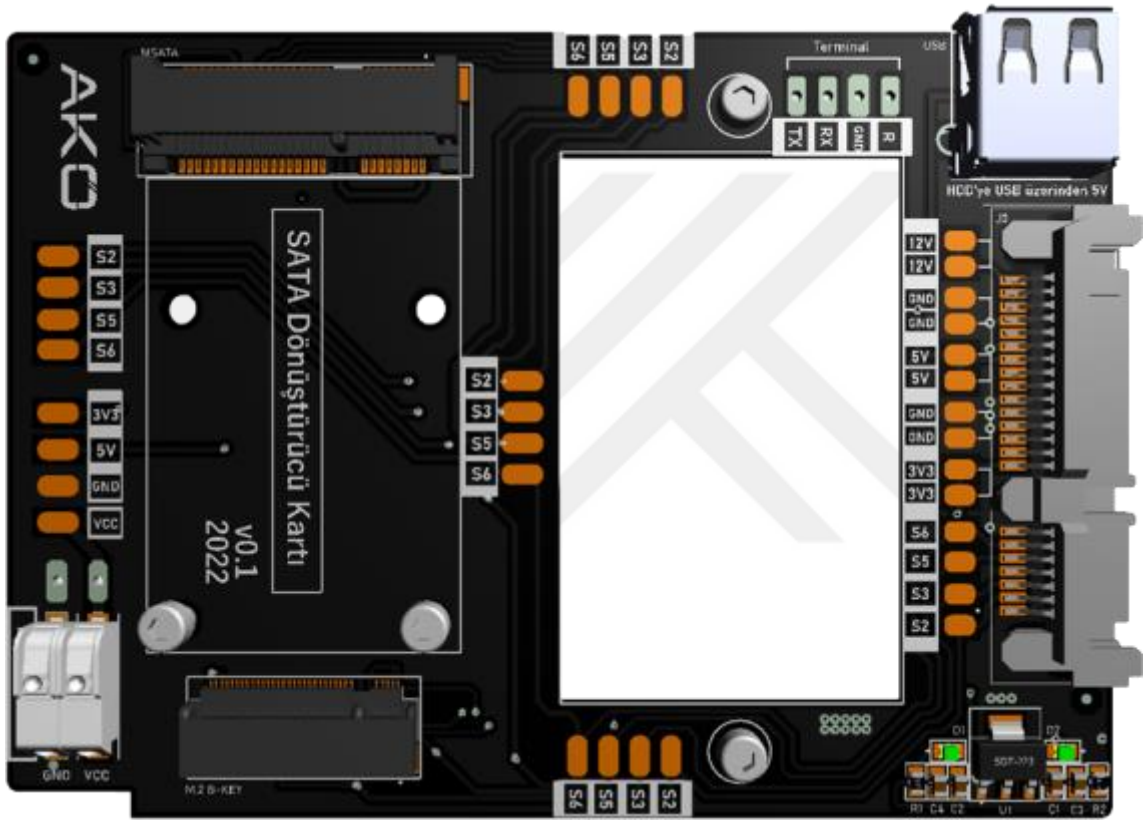
Yukarıda anlatılan yöntem kullanılarak, açık ve kapalı kaynaklarda sata dönüşümüyle ilgili bilgi bulunmayan Toshiba marka MQ01UBD100 model ve PCB numarası G3448A olan bir diskin tarafımızca tespit edilen Sata bağlantı noktaları Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.2. G3448A numaralı PCB'nin Sata bağlantı noktaları

Araştırmalarımız esnasında Toshiba marka disklerdeki model isminde geçen U (xxxxUxxxxx) ibaresinin USB'yi, A (xxxxAxxxxx) ibaresinin ise Sata arayüzünü belirtmek için kullanıldığı görülmüştür.

USB arayüzünden erişilemeyen harici hard disklerin Sata arayüzü üzerinden nasıl erişileceği bölüm 3.2.2.2’de Sataya dönüştürmek başlığı altında anlatılmış, dönüşümü yapılmış bir disk örneği de Şekil 3.114’de sunulmuştur. Tek başına Sata soketinin kullanım pratikliğinin olmaması ve donör PCB kartlarının sürekli temin edilmesi mümkün olmadığı için arızalı USB arayüzlü HDD’lere veya M.2 SSD’lere Sata arayüzü üzerinden erişilebilmesini sağlamak için bir dönüştürücü kart geliştirilmiştir. Geliştirilen bu kartın görüntüsü Şekil 4.3’te sunulmuştur.

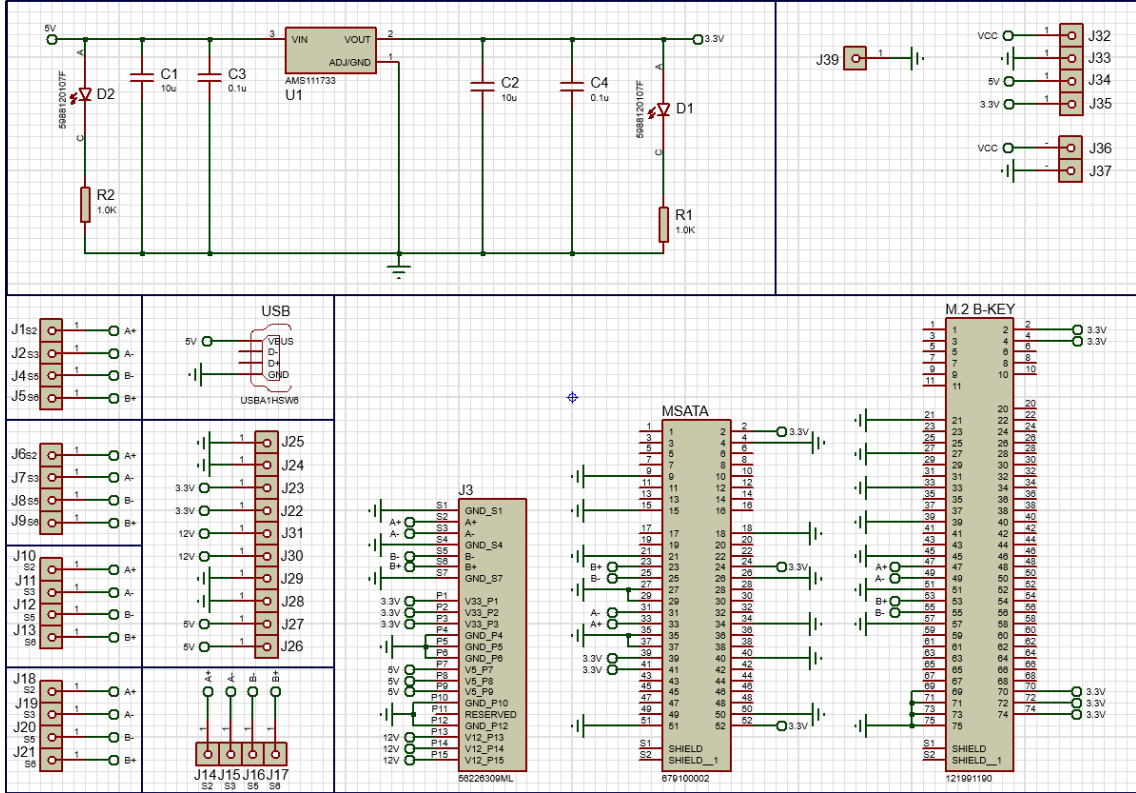


Şekil 4.3. Sata arayüzden erişim için geliştirdiğimiz kart

Bu kart sayesinde aşağıda sayılan işlemlerin hepsi başka hiçbir donanıma gerek kalmadan gerçekleştirilebilmektedir.

- Msata dönüşümünü sağlamak için,
- M.2 – B Key SSD dönüşümünü sağlamak için,
- Lehimlenmiş kart bağlantı kablolarının güvenliğini sağlamak,
- Gerekli zaman disklere terminal bağlantısı sağlamak,
- Bunların dışında sata dönüşümü yapılabilen SSD’lerin dönüşümünü yapmak,

- Lehimleme işlemini kolaylaştırmak ve lehimlenmiş kartın taşınmasını kolaylaştırmak,
- Güç veya veri soketleri kırık 1.8", 2.5" ve 3.5" hard disklerin soket bağlantılarını sağlamak amacıyla bir dönüştürücü kart geliştirilmiştir.



Şekil 4.4. Geliştirilen Sata arayüz kartının devre şeması

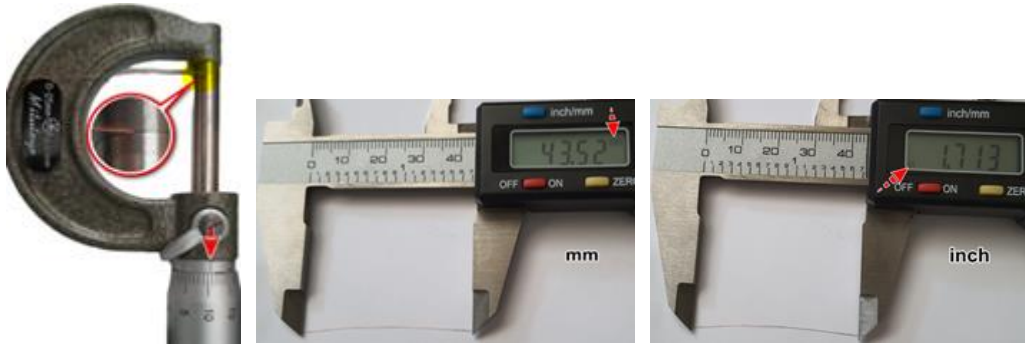
Kartın geliştirilmesi sırasında kullanılan parçaların listesi:

- Msata soketi
- Dişi USB soketi
- M.2 B-Key soketi
- AMS1117 5V to 3.3V entegresi
- 2 Kutuplu voltaj konnektörü

Çizelge 4.8’te sunulan PCB’ler kullanılarak yapılan test işlemleri neticesinde geliştirilen cihazın herhangi bir veri kaybı olmaksızın yukarıdaki sayılan avantajları sunarak verilere erişilmesini sağladığı görülmüştür.

USB arayüzlü diskleri Sata arayüzüne dönüştürmek için yaptığımız testler sırasında Sata veri bağlantısını sağlayacak olan kabloların uzunluğunun ~4.3cm civarında olması gerektirir. Bu uzunluktan sonra Sata veri sinyalinin iletilemediği tespit

edilmiştir. Test işleminde kullanılan telin kalınlığı ~ 0.15 mm civarındadır. Test işlemlerini gerçekleştirdiğimiz tellerin micrometre ve kumpas ölçümleri Şekil 4.5'te sunulmuştur.



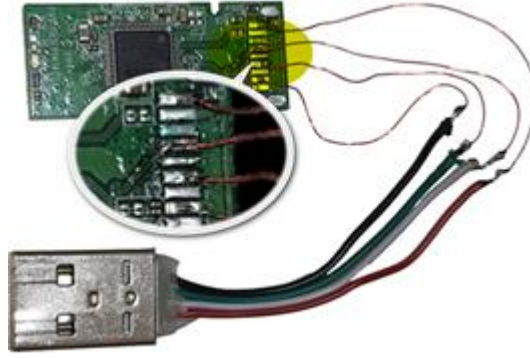
Şekil 4.5. Kullanılan telin kalınlığı ve en fazla olması gereken uzunluk

Arızası tespit edilemeyen USB flash belleğin donörü bulunduktan sonra denetleyicisi ve veri çipi taşınması (tam değişim - full swap) sonucunda USB flash belleğin başarıyla çalıştığı görülmüş ve veriler alınmıştır. Kullanılan yöntemin Nand flash kullanan cihazlar için alternatif bir yöntem olarak kullanılabilceği öngörülmektedir. Gerçekleştirdiğimiz değişim için kullanılan USB flash bellekler Şekil 4.6'de sunulmuştur.



Şekil 4.6. Tam değişim yapılmış USB flash bellek

Arızası tespit edilemeyen donörü bulunamayan USB 3.0 flash bellek, Şekil 3.41'de verilen pin çıkışları kullanılıp USB 2.0'a çevrilmesi sonucunda USB flash belleğin başarıyla çalıştığı görülmüş ve veriler alınmıştır. Kullanılan yöntemin USB flash bellekler için alternatif bir yöntem olarak kullanılabilceği düşünülmektedir. Gerçekleştirdiğimiz dönüşüm için kullanılan USB flash bellekler Şekil 4.7'de sunulmuştur.

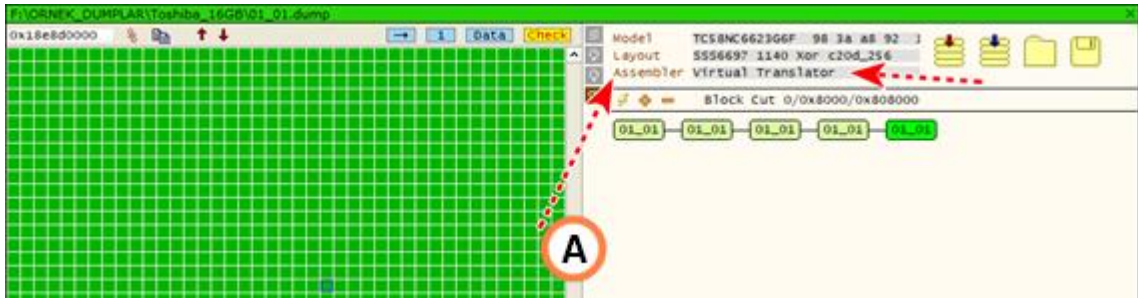


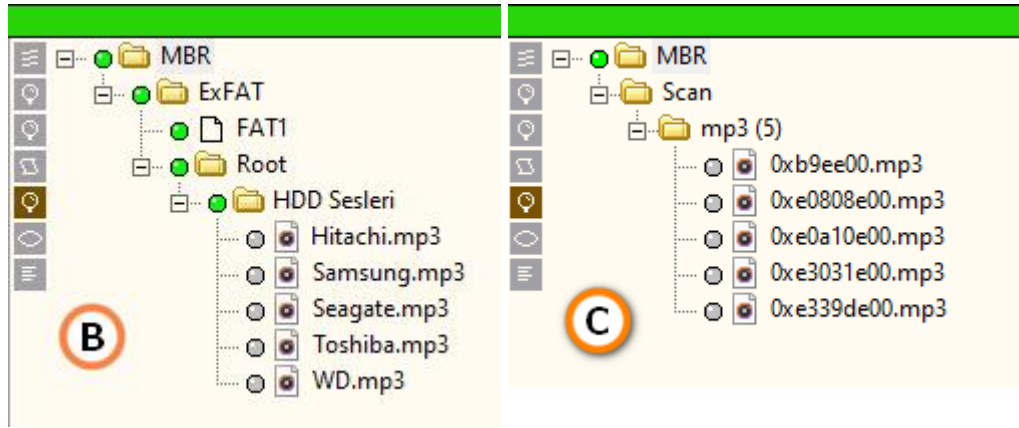
Şekil 4.7. USB 2.0 dönüştürülmüş flash bellek

4.2. Assembler Olarak Virtual Translator Kullanmamak

Aşağıda anlatılacak araştırma için SoftCenter Flash Extractor yazılım ve donanımları da kullanılmıştır. Flash Extractor yazılımı üzerinden denetleyicinin taklit edilmesi sırasında Assembler olarak “Virtual Translator” kullanıldığında kurtarılan veri sayıları ile Raw seçeneği kullanılması durumunda kurtarılan veri sayıları kıyaslanmıştır.

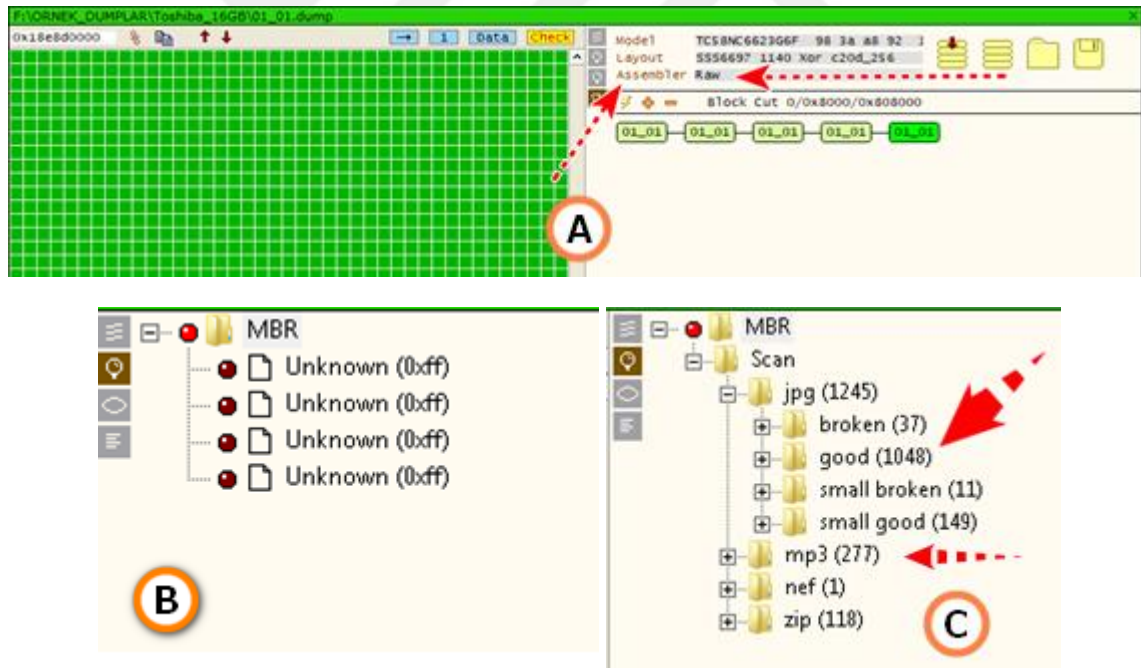
Toshiba marka 8GB kapasiteli TC58NC6623G6F denetleyicisi kullanan bir USB flash belleğin Tsop48 veri çipi sökülerek okutulmuştur. Yazılım Assembler olarak “Virtual Translator” kullanıldığında (Şekil 4.10-A), bellekte kullanılan dosya sisteminde aktif olarak gözüken dosyaların geldiği (ağaç yapısının geldiği) (Şekil 4.10-B), ancak bellekten silinen dosyaların getirebilmesi için yazılım üzerinden ham kurtarma (Raw) yapıldığında ise mevcut dosyalar haricinde herhangi bir dosyanın kurtarılamadığı görülmüştür (Şekil 4.10-C).





Şekil 4.8. Assembler olarak Virtual Translator seçilmesi

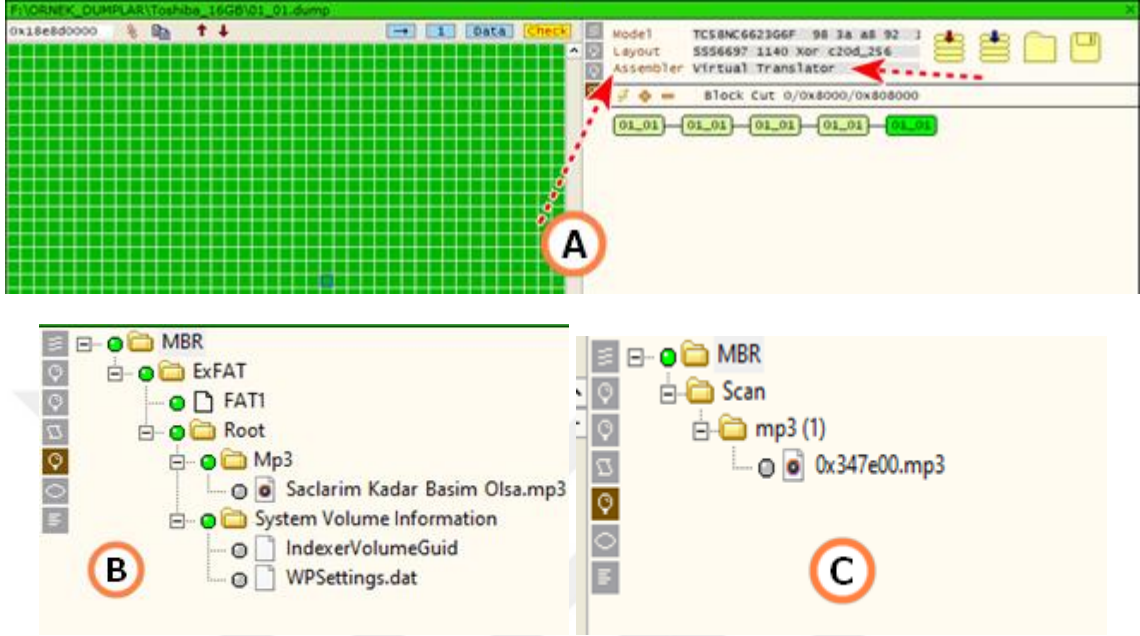
Aynı yazılım üzerinden Assembler olarak Raw seçilirse (Şekil 4.11-A) ağaç yapısının gelmediği (Şekil 4.11-B), ancak bellekten silinen dosyaların getirebilmesi için yazılım üzerinden ham kurtarma (Raw scan) yapıldığında daha önce görüntülenen dosyaların yanında çok fazla dosyanın kurtarıldığı görülmüştür (Şekil 4.11-C).



Şekil 4.9. Assembler olarak Raw seçilmesi

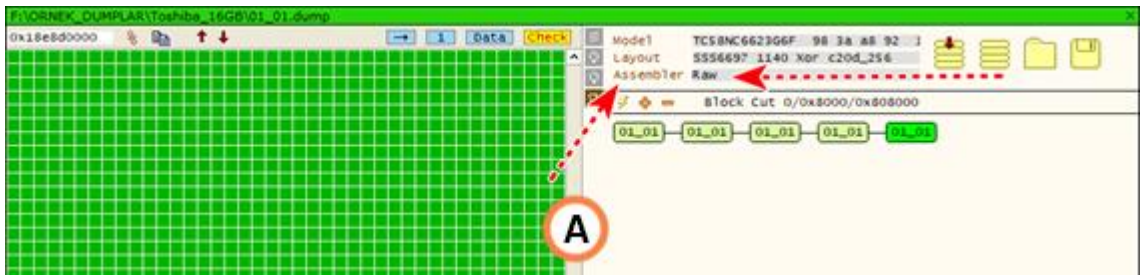
Örnekleme benzer denetleyici kullanan USB flash bellekler üzerinde nasıl sonuçlanacağını tespit edilebilmesi için Toshiba marka 16GB kapasiteli TC58NC6623GF denetleyicisini kullanan bir USB flash belleğin Tsop48 veri çipi sökülerek okutulmuştur. Assembler olarak “Virtual Translator” kullanıldığında (Şekil 4.10-A), bellekte kullanılan dosya sisteminde aktif olarak gözüken dosyaların geldiği

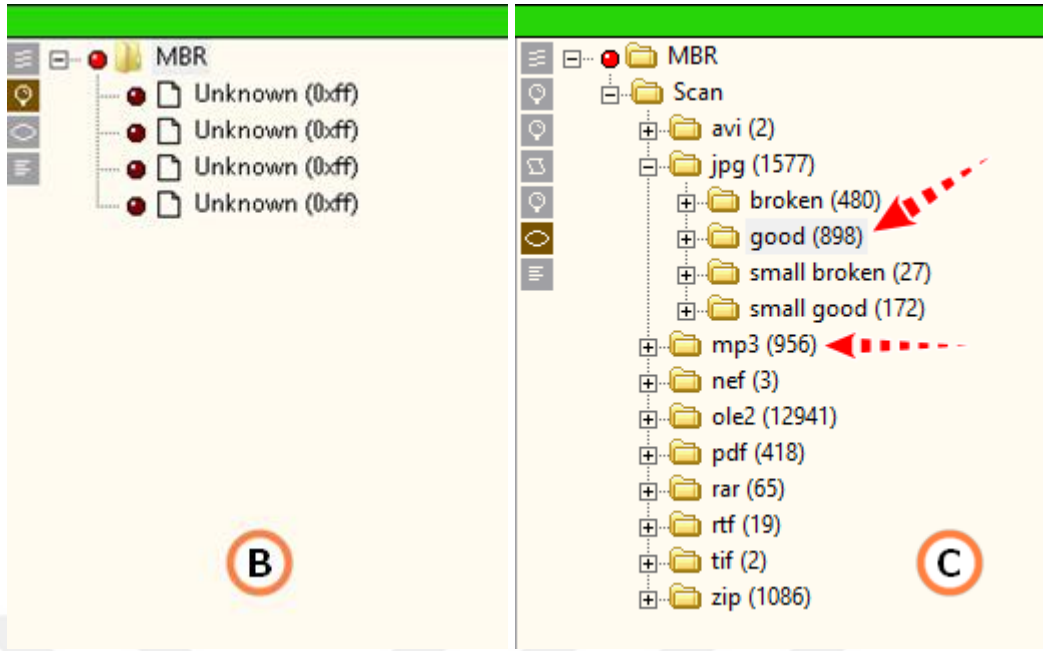
(ağaç yapısının geldiği) (Şekil 4.10-B), ancak bellekten silinen dosyaların getirebilmesi için yazılım üzerinden ham kurtarma (Raw) yapıldığında ise herhangi bir dosyanın kurtarılamadığı görülmüştür (Şekil 4.10-C).



Şekil 4.10. Assembler olarak Virtual Translator seçilmesi

Aynı bellek üzerinde Assembler olarak Raw seçilirse (Şekil 4.11-A) ağaç yapısının gelmediği (Şekil 4.11-B), ancak bellekten silinen dosyaların getirebilmesi için yazılım üzerinden ham kurtarma (Raw scan) yapıldığında daha önce görüntülenen dosyaların yanında oranlanamayacak kadar fazlalıkta dosyanın kurtarıldığı görülmüştür (Şekil 4.11-C).

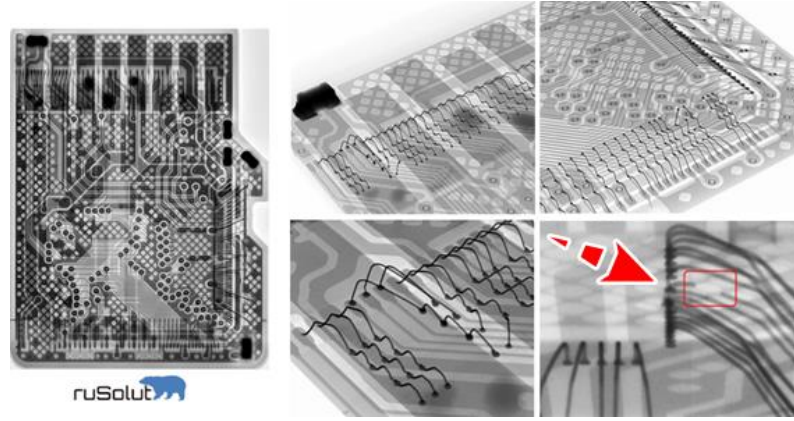




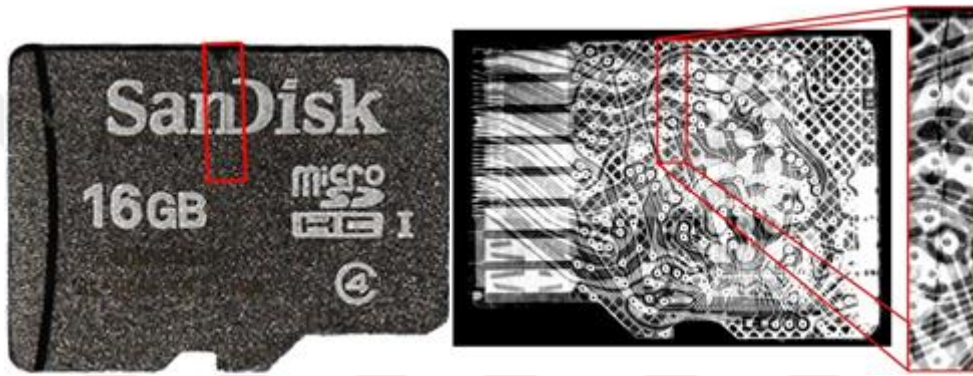
Şekil 4.11. Assembler olarak Raw seçilmesi

Sonuç olarak Assembler olarak Virtual Translator (Translator Bölüm 3.1.2’de anlatılmıştır) kullanarak ağaç yapısı bulunduğundan sonra Assembler’ın Raw olarak kullanılması çok daha fazla veriye erişilmesine olanak sağlamıştır. Assembler’ın bu şekilde kullanılarak daha fazla veriye erişildiği Flash Extractor yazılımının www.flash-extractor.com/manual/virtual_translator/ adresindeki kullanma kılavuzunda belirtilmemektedir. Veri kurtarma açısından düşünüldüğünde fazla miktarda verinin kurtarılması müşteri memnuniyetini arttıracaktır. Adli bilişim açısından düşünüldüğünde de her biri delil olma potansiyeli taşıyan yeni veriler ortaya çıkarılmış olacaktır.

Yekpare cihazlardaki donanımsal arızalardan olan iç devre yollarındaki kopukluklarının tespit edilmesi işleminde Röntgen cihazlarının (X-ray) faydalı olduğu görülmüştür. Kendi röntgen çekim örneklerimiz Şekil 3.39 – 3.48 – 3.49 – 3.55’te sunulmuştur. Ancak daha yüksek çözünürlüklü, kaliteli bir görüntünün daha anlaşılır olabileceği düşünüldüğünden hafıza kartı iç yol kopukluğunun ve hafıza kartı kırıklığının röntgen altındaki görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 4.12. Hafıza kartı iç yol kopukluğunun röntgen altında görünümü (Rusolut Sp. z o.o., 2022)



Şekil 4.13 Hafıza kartı kırıklığının röntgen altında görünümü (ATSB, 2017)

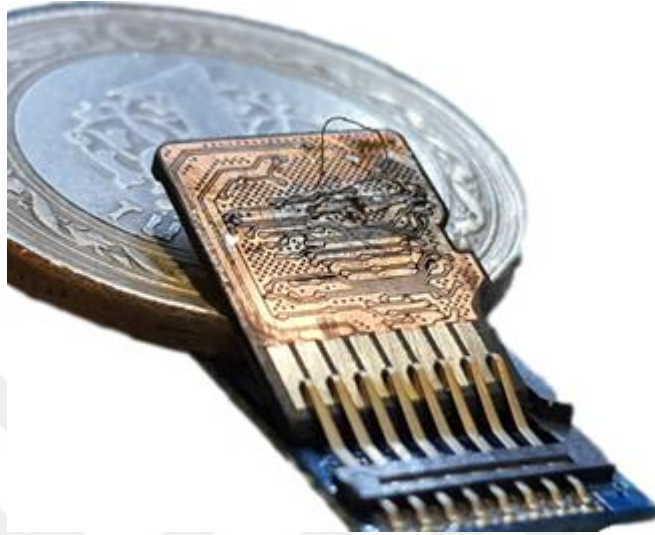
4.3. Ters Hafıza Kartı Okuyucusu

Yüzey yol kopukluğu olan Şekil 3.134 ve 4.17’de örnekleri sunulan hafıza kartlarının yüzeylerine yol atılmasıyla hafıza kartlarının çalıştığı ve veri alınabildiği görülmüştür. Ancak hafıza kartının, kart okuyucusuna takılması esnasında üzerine atılan yolların kopmasına sebep olduğu, yolların üzerine UV ışığında sertleşen lehim maskesi (Solder Mask) uygulandığında ise hafız kartının, kart okuyucusuna girmediği görülmüştür.



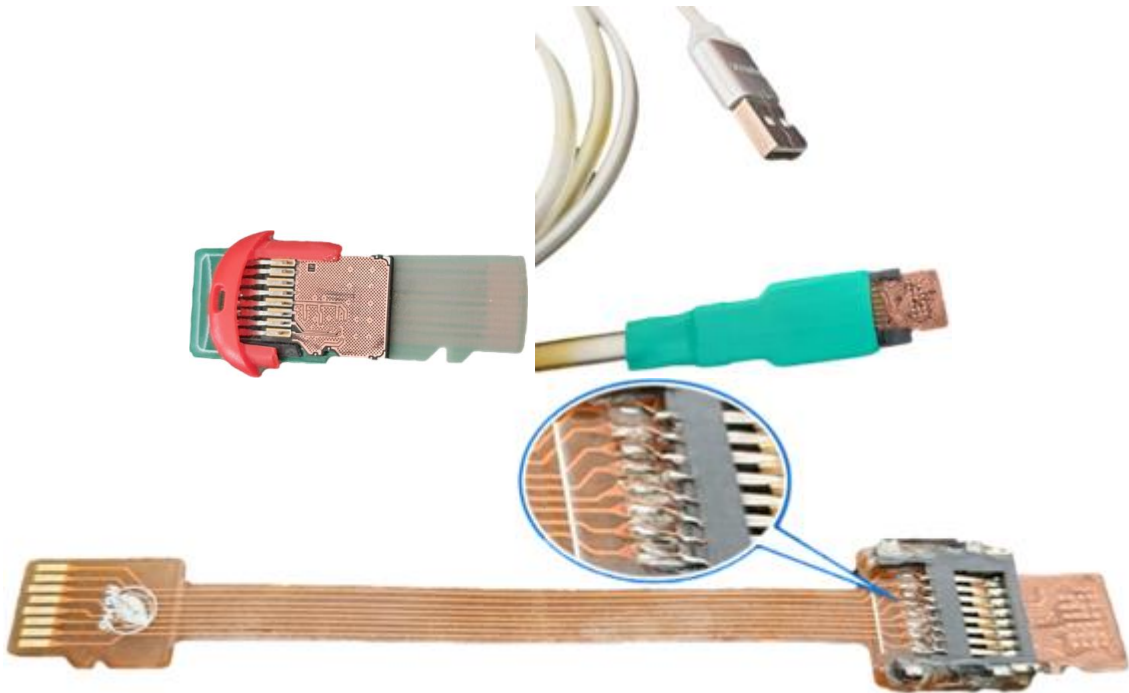
Şekil 4.14. Lehim maskesi uygulanmış hafıza kartı

Bunun üzerine Cob/ Blog denetleyicisine sahip bir hafıza kartı okuyucusunun soketi ve pin bağlantıları, yeniden tasarlanarak, ters takılmış microSD'yi okuyabilmesini sağlayacak bir hafıza kartı okuyucusu geliştirilmiştir. Ölçeklendirme yapılabilmesi için 1TL üzerindeyken bu okuyucuya yerleştirilmiş bir hafıza kartı Şekil 4.15'da sunulmuştur.



Şekil 4.15. Ters takılmış hafıza kartını okuyabilen kart okuyucusu

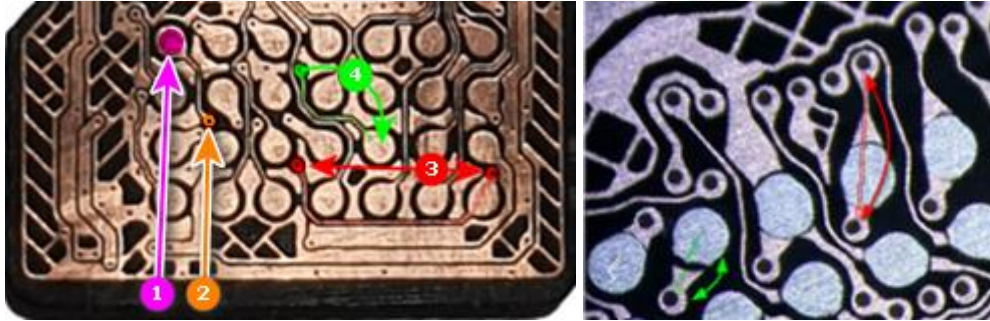
Bu kart okuyucunun USB üzerinden veya farklı bir hafıza kartı okuyucusu üzerinden veri alışverişini yapabilmesi için çeşitli kablolar geliştirilmiştir (Şekil 4.16).





Şekil 4.16. Ters takılan kartı okumaya yarayan okuyucu ve aparatlar

Şekil 4.17’de kart içinden gelen sinyallerin yüzeye aktarıldığı delikler turuncu renk ve 2 rakamı, bu deliklerin devamındaki/ aktarıldığı pad’ler mor renk ve 1 rakamı ile gösterilmiştir. Örnekleri Şekil 3.134’de ve 4.15’da gösterilen kartların yüzey bağlantıları yapılarak veri kurtarma işlemi yapılmıştır. Bu kurtarma işleminde, Şekil 4.17’de yeşil ok (no 4) ile gösterilen delik ile verinin içeriden gelerek dış yüzeydeki pad’lere ulaşmasını sağlayan yolların kartın iç çalışma yapısını etkilemediği ve kartın normal olarak kullanılabilirdiği görülmüştür. Ancak kırmızı ok (no 3) ile gösterilen ve kart yüzeyinden iç bağlantıların birleştiği noktalar arasındaki yol kopukluklarının kartın çalışmamasına neden olduğu görülmüştür. 3 numara ile gösterilen türdeki yollar tamir edilirse hafıza kartının çalışma ihtimali olduğu görülmüştür. Bu yollar tamir edilmesine rağmen hafıza kartı çalışmıyorsa eğer ve Nand arayüzünden veri kurtarma işlemleri gerçekleştirilecekse bu yol kopukluklarının tamamının tamir edilmesi gerekmektedir.



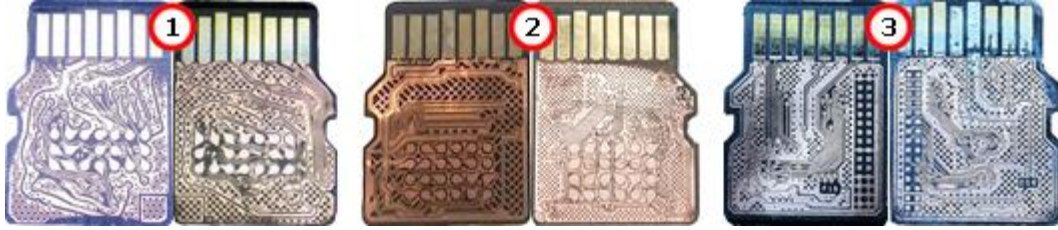
Şekil 4.17. MicroSD hafıza kartlarında yol kopukluğu

4.4. Hızlı Hafıza Kartı Okuma Adaptörü

Micro SD hafıza kartları üzerinde gerçekleştirdiğimiz ve detay bilgileri Çizelge 4.9’te sunulan 168 adet veri kurtarma işlemi sonrasında 102 adetinin donanımsal 66 adetinin ise yazılımsal olduğu gözlemlenmiştir. 3.2.2.3’de anlatılan yöntemler uygulandığında 97 adetinden verilerin kurtarıldığı görülmüştür.

Bu hafıza kartları için veri kurtarma işlemleri için incelendiğinde TTN’lerin bir kısmının aynı olduğu (Şekil 4.18) bir kısmının ise birbirlerinden tamamen farklı olduğu

(Şekil 4.19) görülmüştür. Veri kurtarma firmalarına ait olan sayfalardaki (Arvika Data Recovery, 2013; GreyD Lab, 2015; Rflashdata.com, 2016; RecuperoDatos.com, 2020) TTN'ler kontrol edildiğinde yüzlerce farklı TTN'e sahip kart olduğu görülecektir.



Şekil 4.18. Farklı markaların aynı TTN'leri



Şekil 4.19. Farklı markaların farklı TTN'leri

TTN'lerdeki farklılığın sebeplerinin öğrenilmesi için SD Association'a e-posta yoluyla sorulduğunda: "Kendilerinin SD Kart üreticisi olmadığını, bir standartlar organizasyonu oldukları için, sadece SD kartlar ile ilgili genel özelliklerin sitelerinde mevcut olduğu" belirtmişlerdir. Bunun üzerine hafıza kartı veya bellek üreticisi olan Delkin, Integral Memory, Kingston, Kioxia, Lexar, Maxell, PQI Group, Phison, Pny, Samsung, SanDisk, Syrox, Transcend, Verbatim, Western Digital firmalarına aynı soru sorulmuştur. Cevaplar incelendiğinde; Teknolojik temas noktaları olarak

isimlendirdiğimiz noktaların; dışarıdan bakıldığında direkt görülemeyeceğini ve testler için kullanıldığını, TTN çeşitliliğinin ise satıcıların üretim esnasında kullandıkları NAND bellek türüne, devre elemanlarına ve veri yollarına göre geliştirdiklerini, TTN’lerde kullanılan sinyal bilgilerinin ise telif haklarından dolayı açıklanamayacağını belirtmişlerdir.

Hafıza kartları kapasitesine (Çizelge 3.9), uygulama performansına (Çizelge 3.10), hızına (Çizelge 3.11) ve veri yollarına (Çizelge 3.12) göre çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitliliğin sağlanmasında çok seviyeli hücre teknolojileri de kullanılmaktadır. Bu çeşitlilikten kaynaklı olarak da kartların iç veri yollarının ve kullanılan devre elemanlarının da farklı olduğu Şekil 3.56’da röntgen görüntülerinden anlaşılmaktadır. Üreticilerin açıklamaları ile araştırmalarımızdan elde ettiğimiz çıkarımlarımızın Şekil 4.17’te örnekler üzerinden göstererek yaptığımız açıklamanın teyit edildiği anlaşılmıştır.

TTN’ler üzerinde yapılan ve bir yıl süren araştırmalarımız neticesinde;

- Şekil 4.20’den de görüleceği aynı marka ve kapasitedeki micro SD hafıza kartlarının TTN’lerinin farklı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.20. Aynı markaya ait farklı TTN’ler

- Bir markanın, aynı kapasite ve modellerine sahip micro SD hafıza kartlarının aynı TTN’lere sahip olabileceği (Şekil 4.21’de 3 ve 4 ile numaralı kartlar)
- Yine aynı markanın aynı kapasite ve aynı modellerine sahip micro SD hafıza kartlarının farklı TTN’lere sahip olabileceği (Şekil 4.21’de 1 ve 2 ile numaralı kartlar) tespit edilmiştir.



Şekil 4.21. Aynı markaya ait farklı ve aynı TTN'ler

- Farklı marka micro SD hafıza kartlarının da aynı TTN'lere sahip olabileceği görülmüştür.



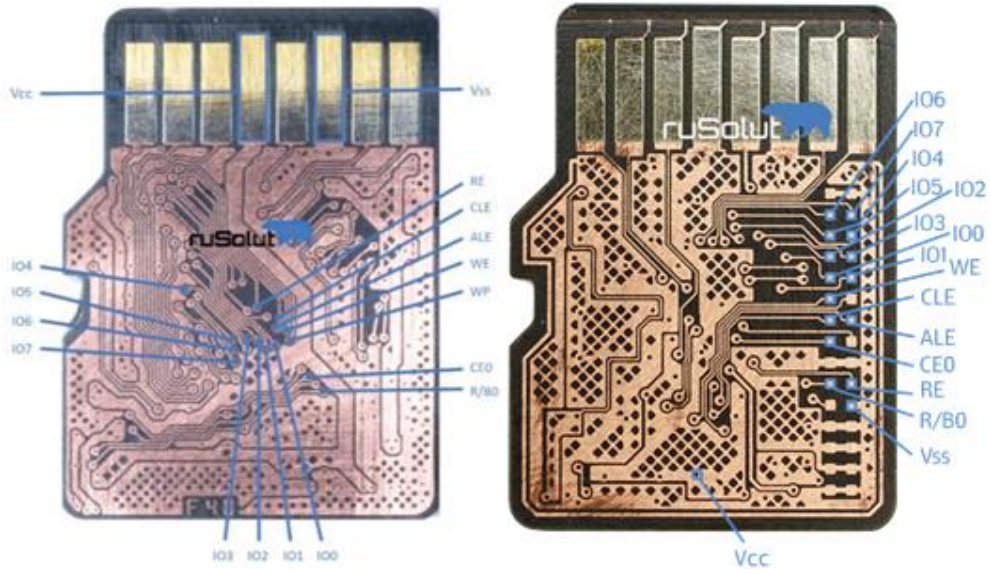
Şekil 4.22. Farklı markalara ait aynı TTN'ler

Hafıza kartları üzerindeki veri kurtarma işlemleri sırasında TTN'leri incelendiğinde; Çizelge 4.9'deki tür isimlendirmeleri (satir sayısı) x (kolan sayısı) şeklinde yapılmıştır.

Çizelge 4.9. TTN türleri ile karşılama sayıları

TTN Türü	Karşılama Sayısı	Örnek Fotoğrafi
3x7	34	Şekil 4.18 – 1 Numara
4x6	52	Şekil 4.18 – 2 Numara
15x2	14	Şekil 4.18 – 3 Numara
Diğer	72	Şekil 4.19
Toplam	172	

Bu çizelgeden anlaşılacağı üzere sık karşılaşılan TTN türleri 3x7, 4x6 ve 15x2'dir. Sık karşılaşılan türdeki micro SD hafıza kartlarının Nand arayüzü kullanılarak dump olarak hızlıca okutulması için bir adaptör yapılmasının yararlı olacağı düşünülmüştür. Daha önce 3.2.2.3'te Nand arayüzü üzerinden veri kurtarma işleminin nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Nand arayüzü üzerinden belleğe erişebilmek için kullanılacak olan TTN'lerin sinyal karşılıklarının bilinmesi gerekmektedir. Ancak açık kaynaklar



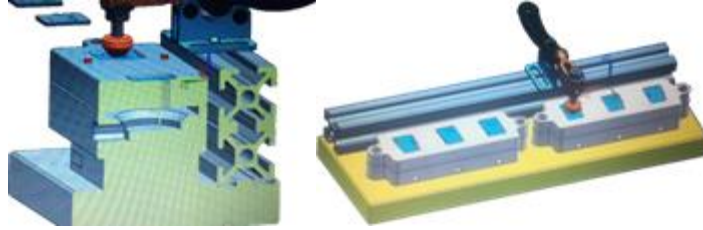
Şekil 4.25. Rusolut Sp. z o.o.'nun bizimle ile paylaştığı TTN'ler

Gerekli TTN'lerin akademik olarak kullanılması için temin edildikten sonra hızlı okuma için kullanılacak yöntemin nasıl tespit edileceği ile ilgili çeşitli testler yapılmıştır. Nihayetinde kullanılacak yöntemin tespit edilerek ilgili adaptör donanımı tamamlanmıştır. Şekil 4.26'da tamamlanan çalışmaya kadarki yapılan test ve işlemler gösterilmiştir.

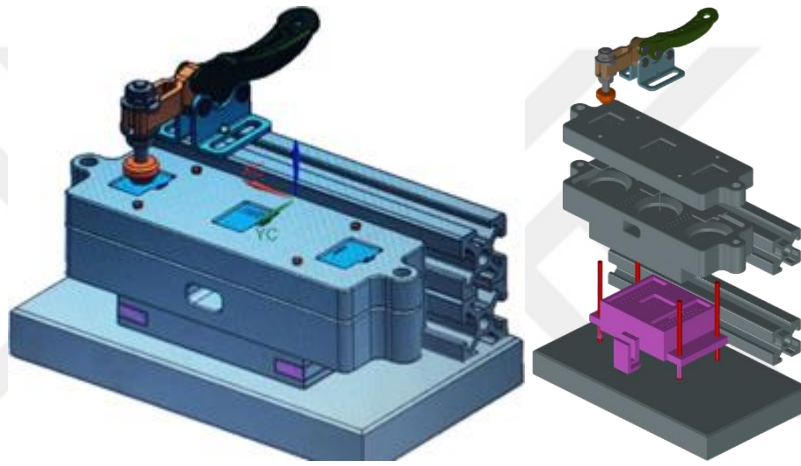


Şekil 4.26. Geliştirme sırasındaki test aşamaları

Bu işlemlerin elle veya 3D yazıcı marifetiyle gerçekleştirilemeyeceğine kanaat getirilmiş, geliştirilecek adaptörün çizimi yapılarak CNC ortamında işlenerek geliştirilmiştir.

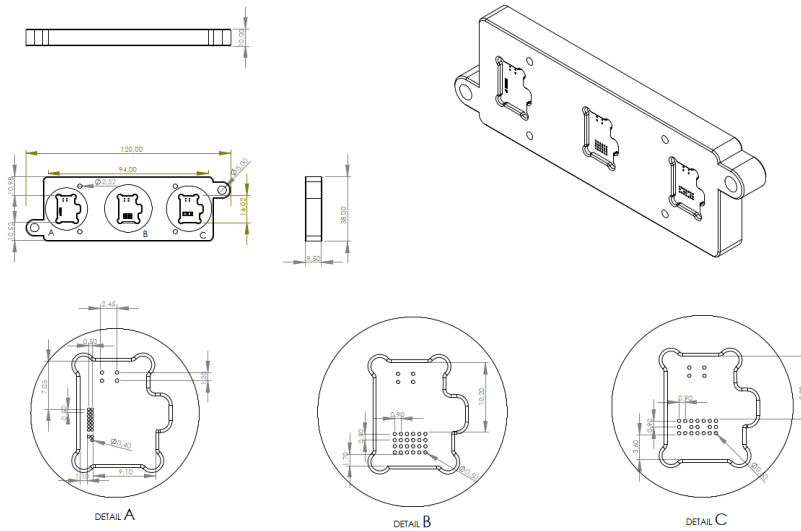


Şekil 4.27. Geliştirilen adaptörün ilk çizimleri



Şekil 4.28. Geliştirilen adaptörün nihai çizimi

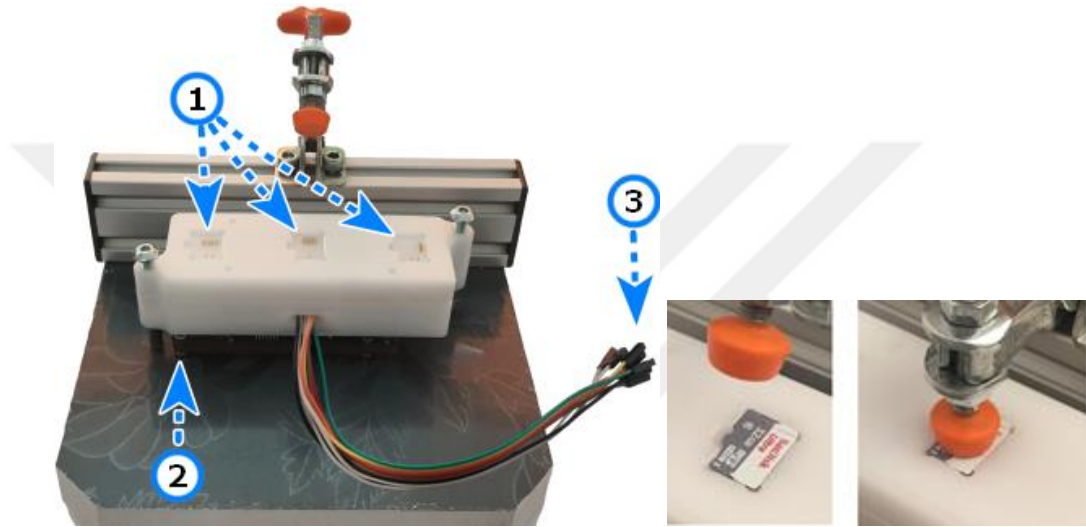
Gerçekleştirilen çizime ait teknik ölçüler Şekil 4.29’te sunulmuştur.



Şekil 4.29. Geliştirilen adaptöre ait teknik ölçüler

Adaptör geliştirilmesinde kullanılan malzemeler:

- 4x20 ölçülerinde alüminyum profil,
- Baskı uygulamak için 1 adet kukamet
- Kart yerleşkesi için elektrik iletmeyen sert alaşımlı plastik (derlin)
- 64 adet 0.28mm çaplı pogo pin
- Zemin için sunta gibi uygun bir malzeme



Şekil 4.30. Tüm bağlantıları yapılmış adaptörün tamamlanmış hali

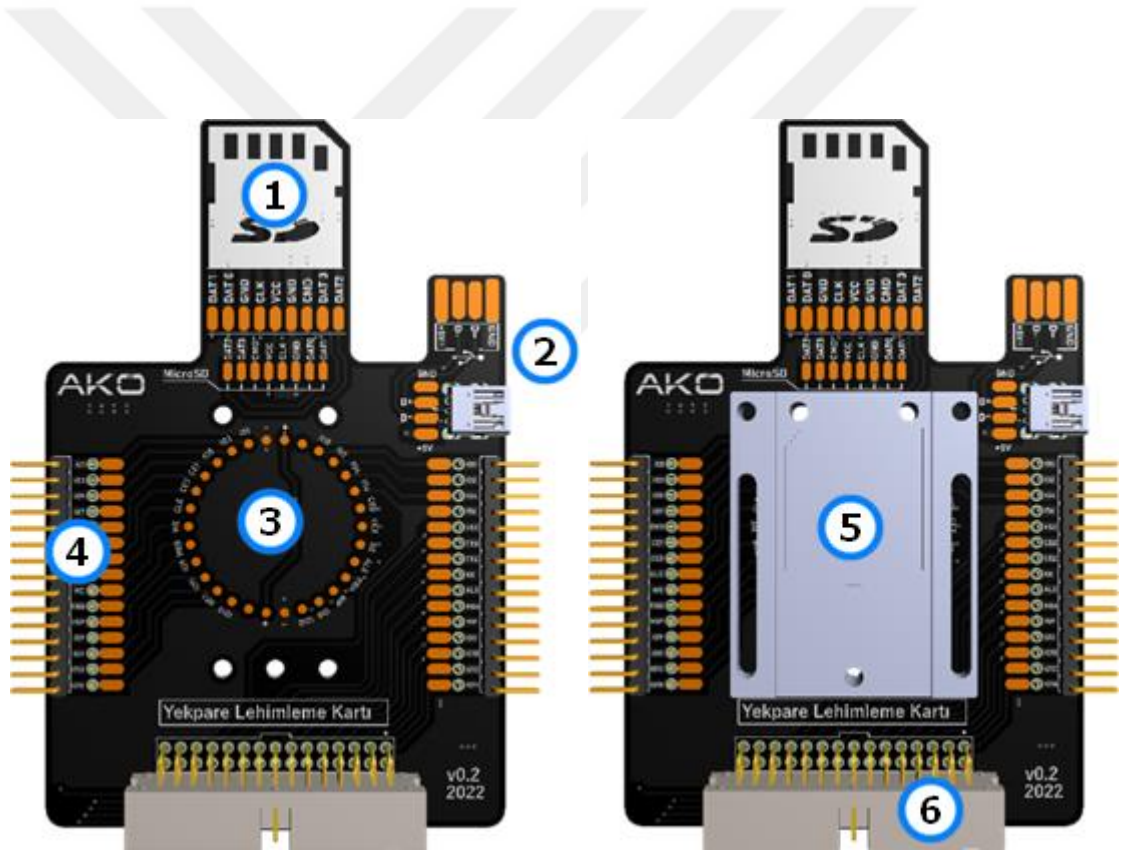
Geliştirilen bu okuyucu adaptör sayesinde;

- Sık karşılaşılan TTN'ler için, lehimleme işlemine gerek kalmadan hafıza kartının Şekil 4.30'da 1 numarası ile gösterilen bölmeye yerleştirilip 2 numarası ile gösterilen kısma Soft-Center firmasına ait olan Nand Reader donanımı üzerinden okuma işlemi çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir.
- Şekil 4.30'da 3 numarası ile gösterilen kablolu soketler vasıtası ile okuma işlemi veri kurtarma donanımı üreten diğer firmaların cihazları için de gerçekleştirilmektedir
- Üretilen bu adaptör ile lehimleme işlemi için harcanan süre kaybı ortadan kalmış olacaktır.

- Lehimleme esnasında yanlış lehimleme, lehim ve tel kopuklukları gibi lehimleme işlemini tekrarlatan ve yine zaman kaybına yol açan sorunlar ortadan kalkmış olacaktır.
- Benzer işlemleri yerine getiren yurtdışı menşeli firmalara harcanan döviz kaybı önlenmiş olacaktır.

4.5. Genel Bellek Lehimleme Kartı

Çizelge 4.9'deki diğer olarak belirtilen ve sık karşılaşılmayan türdeki hafıza kartları ve USB flash belleklerin NAND arayüzü kullanılarak okutulması için genel işlevli bir lehimleme kartı yapılmasının yararlı olacağı düşünülmüştür.

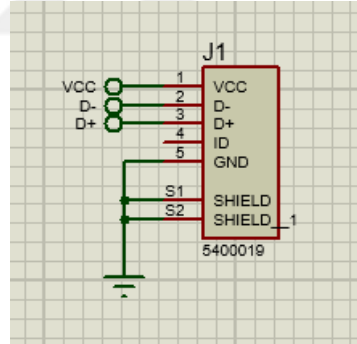


Şekil 4.31. Hafıza kartları ve USB bellekler için geliştirilen lehimleme kartı

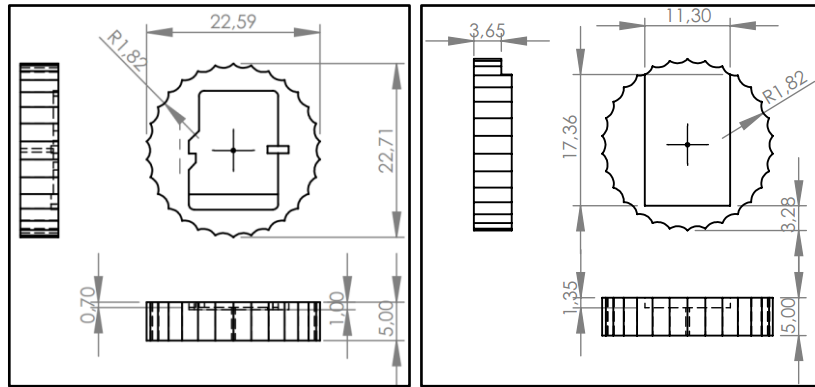
Bu kart sayesinde aşağıda sayılan işlemlerin hepsi başka hiçbir donanıma gerek kalmadan gerçekleştirilebilmektedir.

- Standart veri arayüzü kırık veya pin kopukluğu olan SD veya MicroSD hafıza kartları 1 numarası ile gösterilen alana lehimlenerek veriler alınabilir.

- Soketi kırık USB flash bellekler 2 numaralı USB arayüzü üzerinden veriler alınabilir.
- Hafıza kartı, bellek paketleme türü Cop/Blob olan ya da yekpare USB flash belleklerin TTN'lerin lehimlenmesi için 3 veya 4 numaralı padler çaprazlama/karışık bir şekilde kullanılabilir. Böylelikle TTN'lerin lehimlenmesi sırasında atlama tellerinin üst üste gelmesiyle oluşan dar lehimleme işlemleri kolaylaştırılmış olunmuştur.
- Lehimleme işlemlerini gerçekleştirmek için ilgili belleği lehimleme kartına sabitlemek gereklidir, bunun için çift yönlü bantlar kullanılmaktadır. Geliştirdiğimiz lehimleme tutucuları ile çift yönlü bantın hafıza kartı ve lehimleme kartı üzerindeki artıklarının oluşması engellenmektedir. Çift yönlü bantın havya ısısından kaynaklı olarak yapışkan özelliğini kaybetmesinin önüne geçilmiştir.
- Multi-com Sp. z o.o. firmasının üretmiş olduğu lehimleme kartının çıkışına uyumlu bir çıkış sağlandığı için hali hazırda bu donanım mevcut ise bu donanımlar yine kullanılmaya devam edilebilecektir.



Şekil 4.32. Geliştirilen lehimleme kartının devre şeması

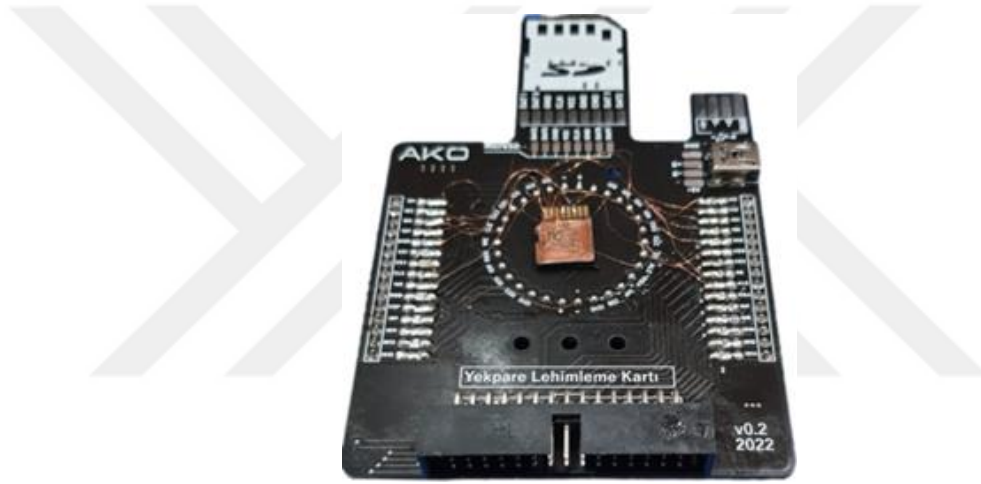


Şekil 4.33. Nand Belleğin lehimlenmesi sırasındaki tutucular

Kartın geliştirilmesi sırasında kullanılan parçaların listesi:

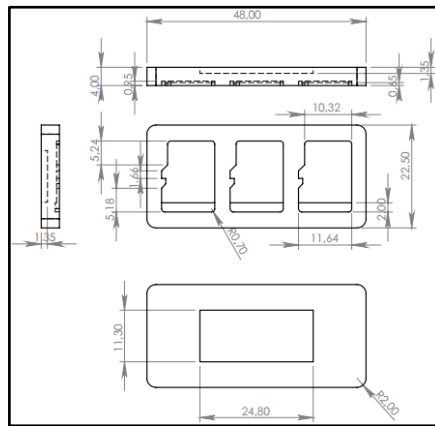
- Dişi USB soketi
- 30 adet pin header
- 30 adet 90°lik pin header
- 1 adet 90°lik 30 pin box header
- Kart yerleşkesi için elektrik iletmeyen sert alaşımlı plastik (derlin)

Çizelge 4.9'te TTN'leri diğer olarak belirtilen hafıza kartlarının, geliştirilen lehimleme kartları kullanılarak gerçekleştirilen test işlemleri neticesinde herhangi bir veri kaybı olmaksızın yukarıdaki sayılan avantajları sunarak veri okuma işlemlerini başarıyla sağladığı görülmüştür. Bağlantıları yapılmış bir microSD kartın geliştirilen aparata uygulanmış hali Şekil 4.34'te gösterilmiştir.



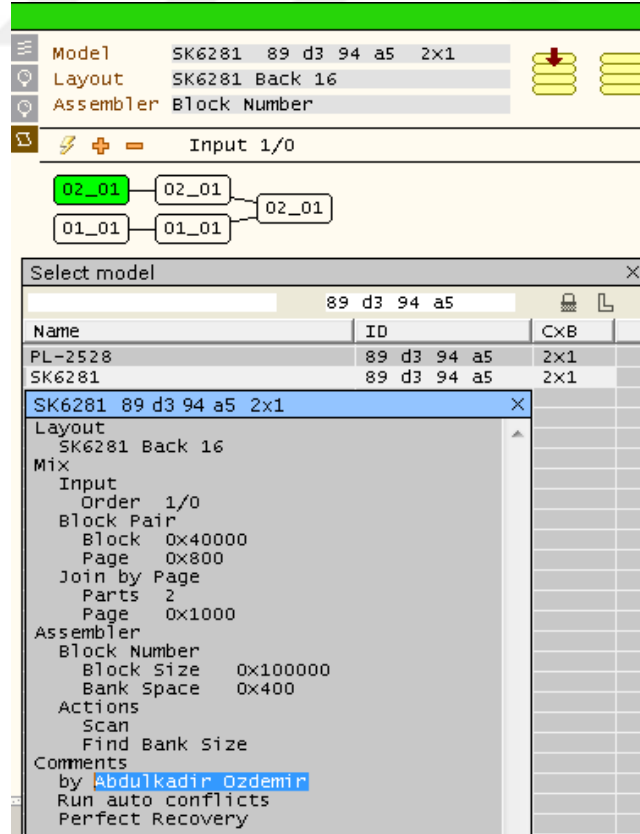
Şekil 4.34. Üretilen kartla lehimlemesi yapılmış bir microSD

Nand bellek kullanan cihazların koruyucu katmanının rahatça kazınması için de Şekil 4. 35'te özellikleri belirtilen kazıma aparatı geliştirilmiştir.



Şekil 4. 35. Nand bellek yüzeyinin kazınması sırasındaki tutucular

Nand arayüzü üzerinden cihazların ham verileri okunduktan sonraki aşaması okunan verinin anlamlandırılabilmesi için Nand bellek denetleyicisinin yazılımsal olarak taklit edilmesidir. Soft-Center firmasına ait yazılım özelinde, denetleyicinin yazılımsal olarak taklit edilme işlemi iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Birincisi firmanın veya tecrübeli kullanıcıların geliştirmiş olduğu denetleyici içyapısını barındıran modeller kullanılmalıdır. İkincisi ise yazılımın o anki sürümünde herhangi bir modelin mevcut olmadığı durumlarda kullanıcının kendisinin denetleyicinin içyapısındaki işlem adımlarını belirleyerek verilere erişmeyi sağlaması gerekmektedir. Nand bellekler üzerinde yaptığımız araştırmalar neticesinde Soft-Center firmasına ait olan Flash Extractor isimli yazılımda kullanılmak üzere 7 adet model geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bu modeller üretici firmaya gönderilmiş ve üretici geliştirdiğimiz modellerin veri kurtarma açısından uygun olduğunu değerlendirerek hem yazılımın içerisinde gömülü olarak yer vermiş hem de firmanın internet sayfasında yayınlamışlardır. Şekil 4. 36'te yazılım içerisinde tarafımızca gerçekleştirilen bir modelin ekran görüntüsü, Çizelge 4.10'te ise firmanın internet sayfasında kendi adımızla yayınlanan modellerin listesi verilmiştir.

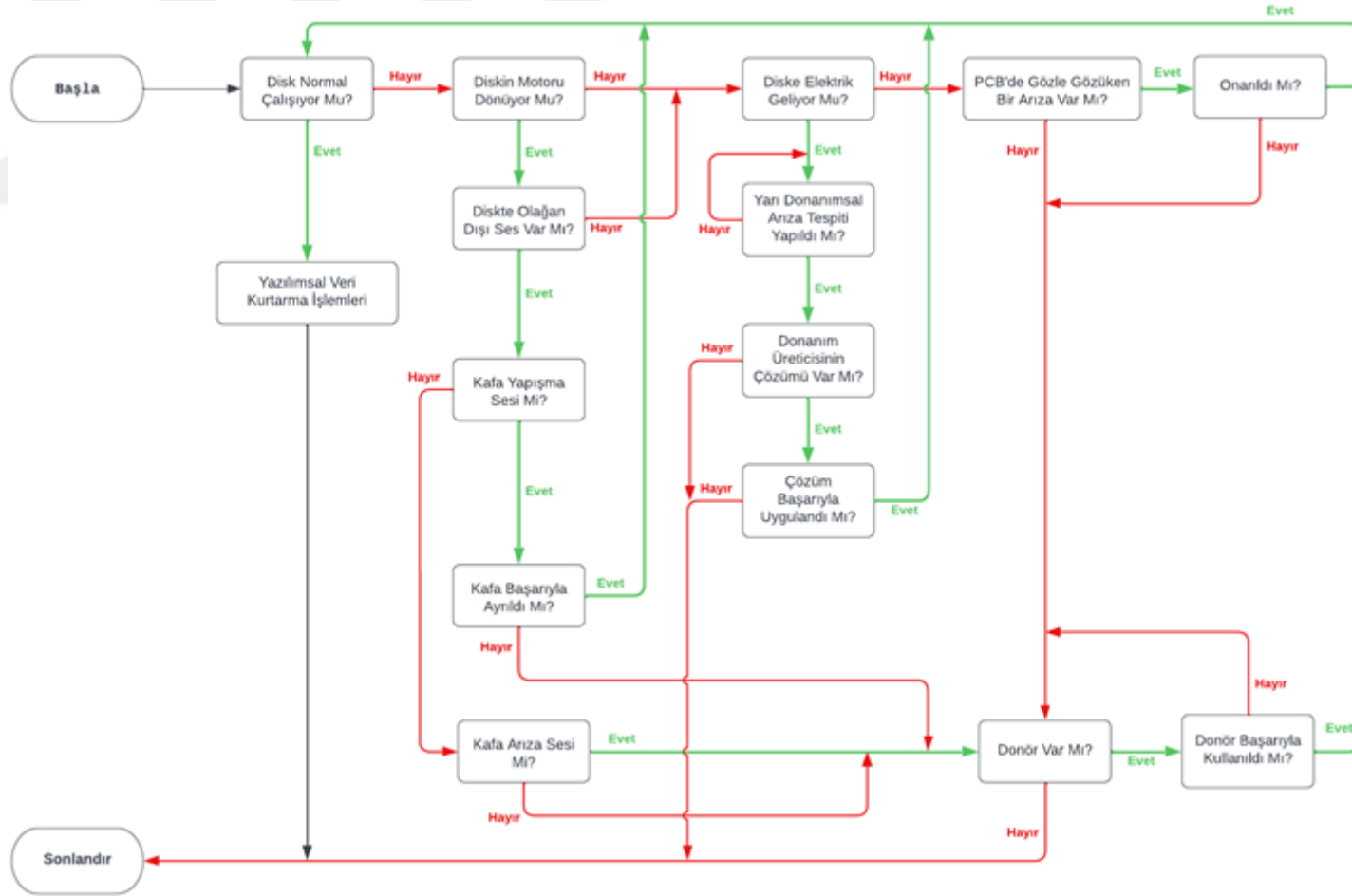


Şekil 4. 36. Flash Extractor yazılımı için geliştirilen model

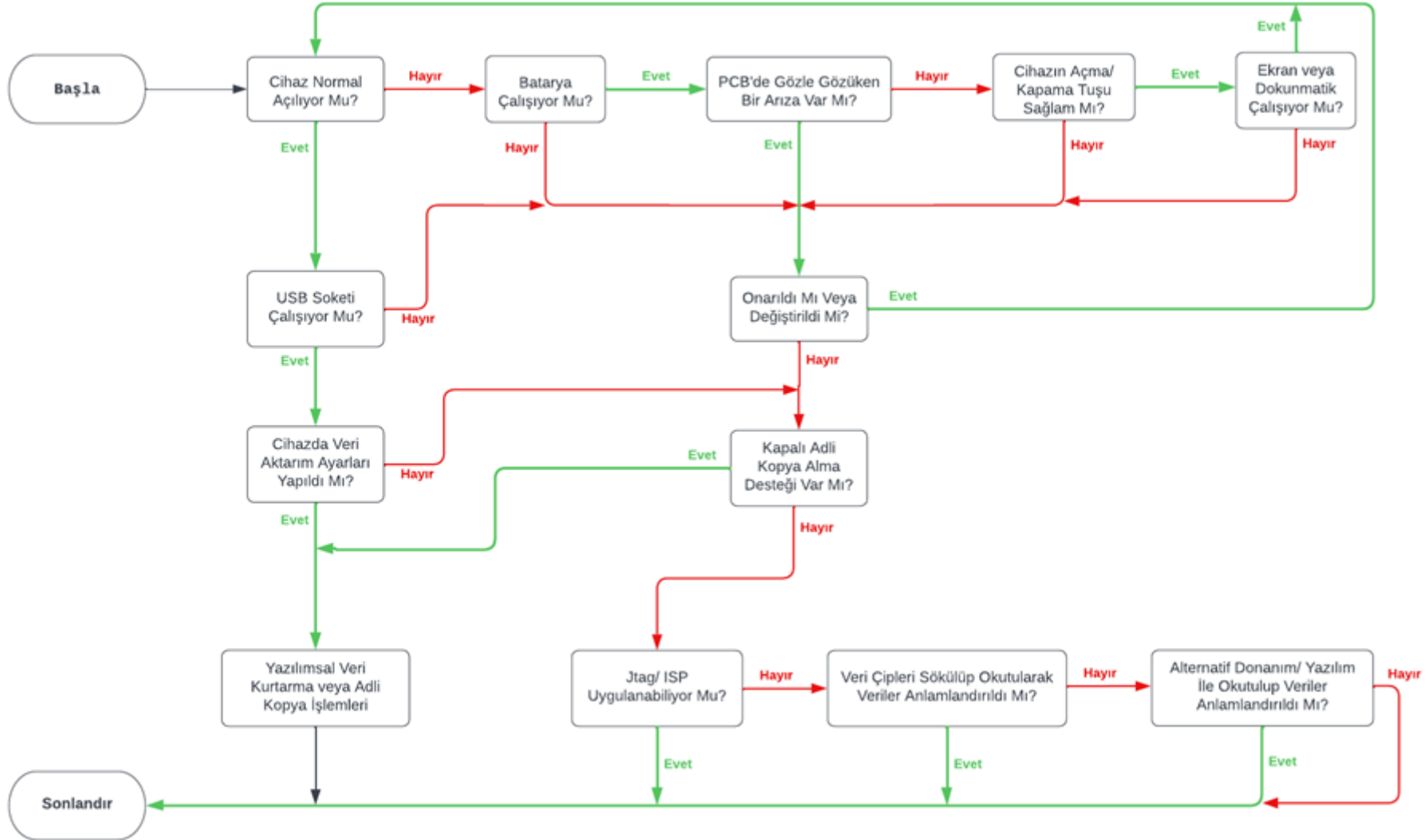
Çizelge 4.10. Flash Extractor yazılımı için geliştirilen modeller

Tür	Bağlantı
Msd	www.flash-extractor.com/library/Monolith/Micro%20SD/Part%203/Monolith%20Micro%20SD_26_ec_dc_14_25_1x1
USB	www.flash-extractor.com/library/AU/AU6989/AU6989_98_de_98_92_1x1
USB	www.flash-extractor.com/library/CBM/CBM2093/CBM2093_2c_68_04_46_1x1_v2
USB	www.flash-extractor.com/library/PS/PS2136/PS2136_89_d3_94_a5_1x1
USB	www.flash-extractor.com/library/SK/SK6211/SK6211_89_d5_94_3e_1x1
USB	www.flash-extractor.com/library/SK/SK6211/SK6211_89_d7_94_3e_1x1
USB	www.flash-extractor.com/library/SK/SK6281/SK6281_89_d3_94_a5_2x1

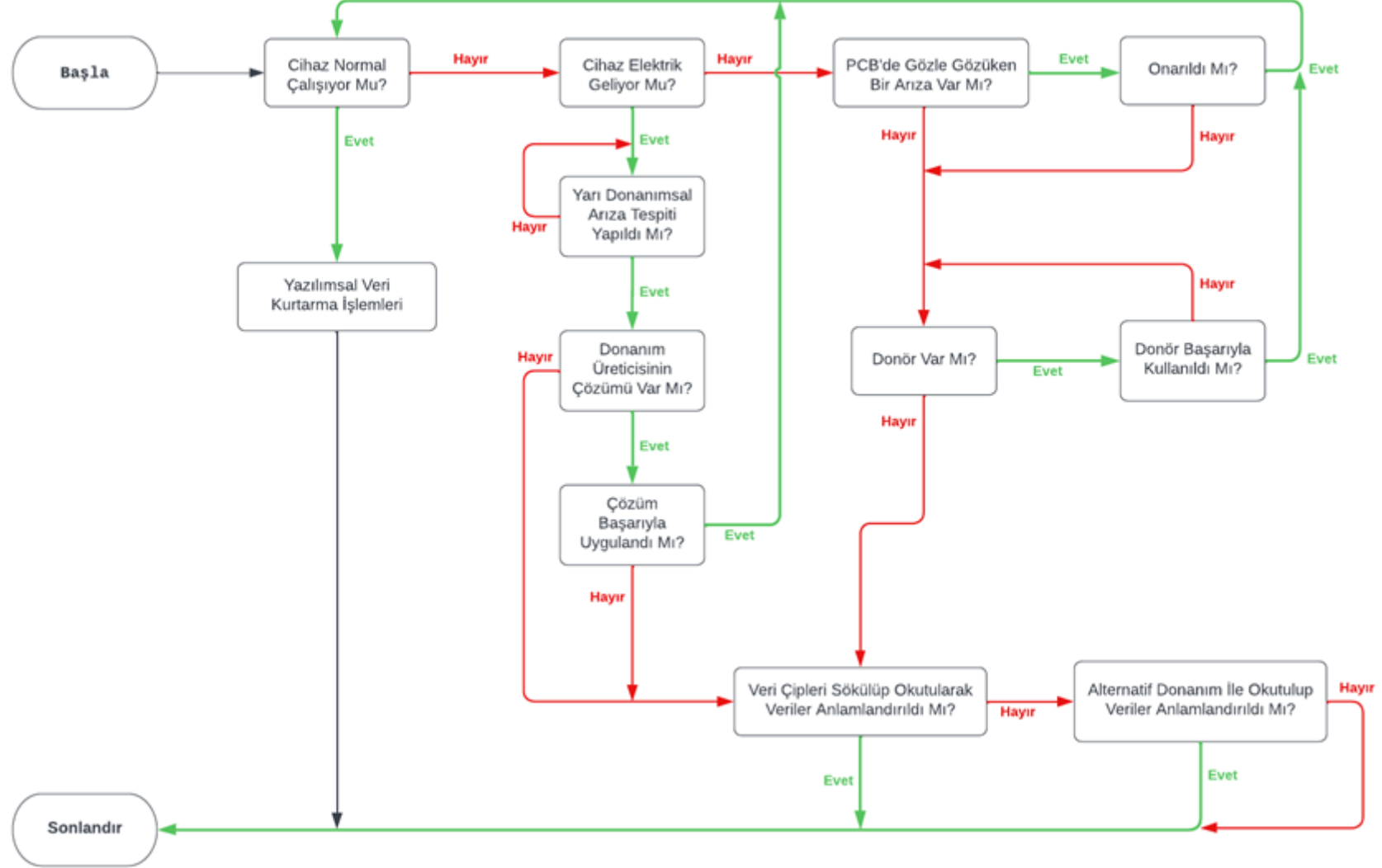
4.6. Veri Kurtarma Sırasında İzlenecek İşlem Adımları



Şekil 4.37. Hard disklerde veri kurtarma adımları



Şekil 4.38. Mobil cihazlardan veri kurtarma adımları



Şekil 4.39. Flash bellek kullanan cihazlardan veri kurtarma adımları

4.7. Veri Kaybına Uğramamak İçin Alınacak Önlemler

- Ani elektrik kesintilerinde cihazın donanımsal olarak korunması için güç kaynağı kullanmak.
- Cihazı statik elektrikten korumak için topraklama sağlamak.
- Çarpma, düşme gibi fiziksel darbelerin etkilerini zayıflatmak için kılıf/çanta kullanmak.
- Hareketli parçaları olan veri depolama birimlerini mümkün olduğunca hareket ettirilemeyecek şekilde konumlandırmak.
- Harici bir veri kayıt birimine veri aktarımı veya üzerindeki verilerin düzenlenmesi sırasında dosyaların bozulmasını önlemek için “donanımı kaldır” seçeneğini kullanarak bilgisayar bağlantısını kesmek.
- Virüs kaynaklı olarak verilerin şifrelenmesi veya bozulmasını önlemek için anti-virüs vb. güvenlik yazılımları kullanmak.
- Veri kayıt biriminin hırsızlık gibi adli olaylardan korumak için fiziksel güvenlik sağlamak.
- Doğal afetlerden veri kayıt biriminin korunması için veri depolama birimlerini uygun önlemler alarak kullanmak.
- Bilinçli veya bilinçsiz olarak gerçekleşebilecek veri kayıplarının önüne geçmek için birisi bulut depolama olmak üzere en az iki yedekleme yapmak.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Her canlının yaşam döngüsü; doğma, yaşama ve ölme şeklinde ilerlemektedir. Aynı durum veri depolama ortamları için de geçerlidir; üretilir, kullanılır ve çeşitli sebeplerle kullanım ömrünü doldurur. Tez çalışmasında, veri depolama cihazlarının kullanım ömrünü doldurmasına sebep olan nedenlerin birçoğu görsel örnekler ile sunulmuş ve bu durumlarda ne şekilde veri kurtarılacağı anlatılmıştır. Bu çalışmada anlatılanların bir sebeple yeterli eğitim alamamış veya kendi uzmanlığı dışındaki konularda da bilgi sahibi olmak isteyen bilişim alanında çalışan kişilere faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca bünyesinde adli bilişim ile ilgili laboratuvar bulunmayan kurumlarda yeni laboratuvar kurulumları için ne tür cihaz ve yazılımlara sahip olunması gerektiği konusunda fikir edinilebilir.

Veri kurtarma işlemleri; şahıslar açısından manevi karşılığı olan verilerin, kurumlar açısından maddi karşılığı olan verilerin, adli bilişim açısından ise adaletin tecelli etmesi için gerekli olan verilerin kurtarılması birincil önceliklidir. Bundan dolayı veri kaybı oluşması durumlarında hangi yöntemler kullanılarak verilerin kurtarılacağı araştırılmıştır.

Bu çalışma sırasında gerçekleştirilen ve yarar sağladığına kanaat getirilen sonuçlarımız maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır:

- 1- Optik cihazlar için 3.2.2.1’de anlatılan "Temizleme işlemi" kullanılarak diğer yöntemlere gerek kalmadan 100 adet ortamdaki veri kurtarıldığı için diğer yöntemlerden daha etkili olduğu görülmüştür.
- 2- HDD ve SSD’ler için 3.2.2.2’de anlatılan "Cihazın onarılması" kullanılarak diğer yöntemlere gerek kalmadan 67 adet ortamdaki veri kurtarıldığı için diğer yöntemlerden daha etkili olduğu görülmüştür.
- 3- Donör kullanmak için sadece açık kaynaklarda veya donör ürün satan firmaların belirlemiş olduğu kriterlerden farklı ihtimallerin olabileceği de tespit edilmiştir.
- 4- USB disklere Sata arayüzü ile erişmek için USB köprüsünün (bridge) PCB'deki konumuna göre Sata veri yollarını tespit etmek için bir yöntem

geliştirilmiştir. Böylece USB köprüsünün kullanım kılavuzuna olan bağımlılık ortadan kaldırılmıştır.

- 5- USB, mSata veya M.2 arayüzlü disklerle, kendi arayüzleri üzerinden Sata komutları gönderilemediği için Sata Dönüştürücü Kart geliştirilmiştir. Bu kart sayesinde çok pratik bir şekilde ilgili disklerle Sata arayüzü kazandırılmaktadır. Böylelikle Sata soketinin çift yönlü bant ile PCB üzerine yapıştırılması neticesinde diskin hareket ettirilmesinden kaynaklı olarak lehimlerin veya kabloların kopmasının önüne geçilmiştir. Ayrıca her disk için ayrı uyumlu PCB araştırılmasına da gerek kalmamıştır.
- 6- Sata dönüşüm işlemlerinde kullanılacak olan atlama tellerinin uzunluklarının ~43mm'den uzun olmasının veri sinyallerinin iletimine engel olduğu görülmüştür.
- 7- Nand arayüzünden veri kurtarma yapıldığı zaman Soft-Center firmasının Flash Extractor yazılımı üzerinde yapılan test işlemleri esnasında, Assembler olarak Virtual Translator olarak ağaç yapısının bulunduğu durumlarda, Assembler'ın Raw seçilmesi durumunda karşılaştırılamayacak kadar fazla dosya kurtarılmaktadır. Bu da veri kurtarma işleminde ağaç yapısının görüntülendiği anda veri kurtarılmaya son verilmemesi gerektiğini göstermektedir. Adli bilişim açısından düşünüldüğünde gelecekte daha fazla verinin ortaya çıkarılabilmesi için güncel olarak geliştirilen veya ortaya çıkan yöntemlerin uygulanabilmesi için adli kopyaların (imajın) yanında Nand üzerinden okutulan ham dump dosyalarının ve kullanılan model/job/sln dosyalarının da sunulmasının önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca araştırmalarımız sırasında elde edilen bu yöntemden firmanın kendi sitesinde bahsedilmemektedir.
- 8- Nand belleklerdeki iç yol kopukluklarının veya belleğin fiziksel durumunun tespitinin yapılması için röntgen cihazının kullanılmasının faydalı olduğu görülmüştür.

- 9- Geliştirdiğimiz kart okuyucusu sayesinde yüzey yol kopukluğu bulunan hafıza kartlarının, atlama teli kullanılarak tamirinin gerçekleştirilmesinden sonra atlama telinin kart okuyucuya takılması esnasında kopması veya standart kart okuyucusuna sığmaması gibi durumlar ortadan kaldırılmıştır.
- 10- Hafıza kartı yüzeydeki TTN'lerin bir kısmının kartın iç iletimi sağlamak için kullanıldığı bir kısmının ise üretim aşamasında belleğin test edilmesi amacıyla kullanıldığı tespit edilmiştir. Test için kullanılan TTN'lerin kartın sağlıklı çalışmasına herhangi bir engel teşkil etmediği ancak iç iletimi sağlayan yüzeydeki TTN'ler arasındaki yol kopukluklarının kartın çalışmasına engel olduğu görülmüştür. Eğer Nand arayüzü üzerinden veri kurtarma yapılacaksa iç iletimi yapan TTN'lerin bağlantılarının kesinlikle onarılması gerekmektedir. Eğer Nand arayüzünden veri kurtarma işlemi test için kullanılan TTN'ler üzerinden gerçekleştirilecekse, bu TTN'lerin iç bağlantıları sağlayan TTN'ler ile olan bağlantısının onarılması gerekmektedir.
- 11- Yaptığımız araştırmalar sonucunda marka, kapasite ve model özellikleri aynı olan hafıza kartlarının aynı TTN'lere sahip olabileceği gibi tamamen farklı TTN'lere sahip olabileceği tespit edilmiştir. Ayrıca marka, kapasite ve model özellikleri bakımında farklı olan hafıza kartlarının TTN'lerinin aynı olabileceği gibi farklı olabileceği de görülmüştür. Buna göre marka, model ve kapasite bilgilerine göre sabit TTN'lerin olmadığı tespit edilmiştir.
- 12- Micro SD hafıza kartlarında Nand arayüzü üzerinden veri kurtarma işlemleri için TTN'ler kullanılmaktadır. Sık karşılaşılan TTN'ler için lehimleme işlemine gerek kalmadan hafıza kartının dump okuma işlemini çok hızlı bir şekilde gerçekleştirebilecek bir adaptör geliştirilmiştir. Geliştirilen donanımda kullanılan kablolu soketler vasıtası ile okuma işlemi, veri kurtarma donanımı üreten diğer firmaların cihazlarıyla da uyumlu olarak çalışabilmektedir. Üretilen bu adaptör ile lehimleme işlemleri için harcanan süre kaybı ortadan kalmıştır. Ayrıca lehimleme esnasında yanlış lehimleme, lehim ve tel kopuklukları gibi lehimleme işlemini tekrarlatan ve yine zaman kaybına yol açan sorunlar ortadan kalmıştır. Benzer işlemleri yerine getiren yurtdışı menşeli firmalara harcanan döviz kaybı bir nebze önlenmiş olacaktır.

13- TTN'leri ile sık karşılaşılmayan türdeki hafıza kartları ve USB flash belleklerin Nand arayüzü kullanılarak okutulması için genel işlevli bir lehimleme kartı geliştirilmiştir. Hafıza kartlarının, bellek paketlemesi cop/blob olan ya da yekpare USB flash belleklerin TTN'lerinin lehimlenmesi ile ilgili belleğin dump'ının okunması işlemi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen donanımda kullanılan kablolu soketler vasıtası ile okuma işlemi, veri kurtarma donanımı üreten diğer firmaların cihazlarıyla da uyumlu olarak çalışabilmektedir. Ayrıca geliştirilen bu kart sayesinde standart veri arayüzü kırık veya pin kopukluğu olan SD, MicroSD hafıza kartları veya soketi kırık USB flash bellekler lehimlenerek verilere erişilmektedir. Benzer işlemleri yerine getiren yurtdışı menşeli firmalara harcanan döviz kaybı bir nebze önlenmiş olacaktır.

14- Lehimleme işlemlerinde belleklerin sabit tutulmasını sağlamak ve belleklerin üzerindeki koruyucu katmanı kazıyabilmek için tutucular geliştirilmiştir. Geliştirdiğimiz tutucular ile çift yönlü bantın hafıza kartı ve lehimleme kartı üzerindeki artıklarının oluşmasını ve yapıştırıldığı yüzeyden kayması engellenmektedir. Çift yönlü bantın havya ısısından kaynaklı olarak yapışkan özelliğini kaybetmesinin önüne geçilmiştir.

15- Yazılımsal, donanımsal veya yarı donanımsal hasara uğrayan veri depolama birimlerindeki sorunu doğru şekilde teşhis etmek, işlemleri gerçekleştirecek firmayı/ kişiyi seçmek ve bunları yaparken uygulanacak doğru yöntemleri belirlemek ve sonrası uygun ekipmanların kullanılması önemlidir. Fiziksel müdahaleler esnasında yapılan işlemin geri döndürülebilme olanağı yazılımsal müdahalelere nazaran çok daha azdır. Bundan dolayı veri kaybına neden olan teşhis ne kadar doğru, uygulanacak yöntemler ne kadar uygulanabilir ve işlemi gerçekleştirecek kişinin tecrübesi ne kadar fazla olursa kurtarılan verinin büyüklüğü de paralel oranda arttığı görülmüştür.

16- Veri kurtarma işlemlerinde tek bir yönteme bağlı kalmamak gerektiği ve alternatif yöntemlerin denenmesinin faydalı olduğu görülmüştür.

17- Veri kaybı olduğu durumlarda veri kurtarma için izlenecek adımlar ile veri kaybına uğramamak için yapılması gerekenler tek tek açıklanmıştır.

5.2. Öneriler

Bilgi birikimi, saha tecrübesi kaynaklı olarak çok fazla olan kolluk kuvvetleri ile görevi nitelikli insana yetiştirmek olan üniversiteler, adli makamların veya diğer kurumların/şahısların veri kurtarma gereksinimini karşılayacak nitelikli insanların yetişmesi için birlikte çalışmalıdırlar. Böylelikle veri kurtarma için kullanılabilir donanım ve yazılım yerli olarak üretilebileceği için harcanacak olan döviz ülkemizde kalmış olacak bu konudaki yurt dışı bağımlılığı azalacak veya ortadan kalmış olacaktır.

Yekpare yapıdaki belleklerden NAND arayüzü ile ham verileri lehim yapmadan okuma yapması için geliştirilecek donanımlar için TTN'lerin kart üzerindeki konumlarının dijital olarak ölçülebilmesi için röntgen cihazlarının kullanımının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Adli bilişimde şüpheliden veya müstekiden elde edilen sayısal verilerin aynı yöntemler kullanılarak tekrar elde edilebilmesi gereklidir. Chip-off yöntemi kullanılarak elde edilen verilerin aynı yöntemler kullanılarak tekrar elde edilebilmesi için kullanılan parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Parametrelerin farklı kullanılması farklı verilerin (hash) elde edilmesini sağlayacak ve delil bütünlüğünü şüpheye düşürecektir. Bu yüzden adli düzenlemeler yapılarak, chip-off yönteminin kullanılırken adli kopya haricinde elde edilen raw dump dosyaları ve bu dump dosyalarının anlamlandırılmasında uygulanan yöntemleri içeren job, sln vb. dosyaların da adli kopyanın yanında bulundurulmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Günlük hayatta veri kurtarma işlemlerini yapan kurumların ya da kuruluşların faaliyetleri uluslararası geçerliliği sertifikasyona bağlanarak teknik yeterliliğin ve bilgi birikiminin bağımsız kurum veya kuruluşlar tarafından denetlenmesinin gerçekleştirilen işlemin güvenilirliğini ve başarı oranını yükselteceği düşünülmektedir.

Giyilebilir teknolojik ürünler gibi sayısal veri barındıran cihazlar gün geçtikçe günlük yaşama daha çok entegre edilmektedir. Doğal olarak bu cihazlardan da veri kurtarma ihtiyacı doğmaktadır. Bu cihazlardan chip-off/nand arayüzünü kullanarak veri kurtarma yapılması gerektiği durumlarda TTN'lerin bilinmesi gerekmektedir. TTN'lerin nasıl tespit edileceğine dair bilgiler özel veri kurtarma firmaları tarafından bilinmektedir.

TTN'lerin tespitine yönelik çalışmaların hem veri kurtarma bakımından hem de maddi bakımdan ÷lkemize katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Veri kurtarma işlemlerinde kullanılacak yazılım ve donanım ile nitelikli personel ihtiyacının yerli olarak karşılanması için akademik çalışmalar arttırılmalı, yüksek lisans ve doktora programları desteklenmelidir.



6. KAYNAKLAR

- ACELab Europe s.r.o., 2014, List of compatible SATA PCB for 2,5" USB drives, <https://forum.ancelab.eu.com/viewtopic.php?f=155&t=8376>:
- Acelab Europe s.r.o., 2018, PC-3000 Data Extractor. Practical advices and Settings Menu Dive In, <https://blog.ancelab.eu.com/pc-3000-data-extractor-practical-advices-settings-menu.html>:
- ACELab Europe s.r.o., 2020, PC-3000. The "Active utility" option, <https://blog.ancelaboratory.com/pc-3000-for-hdd-active-utility.html>: [14.02.2022].
- ACELab Europe s.r.o., 2021, ACE Lab Webinar on the Modern Challenges in Data Recovery & Digital Forensics, <https://www.youtube.com/watch?v=47eXzxZk-0E>:
- Acelab Europe s.r.o., 2022a, PC-3000 Product Catalogue for Digital Forensics.
- ACELab Europe s.r.o., 2022b, Latest PC-3000 Software Update Ver 7.1.x Main New Features Overview, <www.youtube.com/watch?v=znNgJkqJYrw&t=539s>:
- ACS Data Recovery, 2019, Data Recovery On A 3TB Seagate Hard Drive, <https://acsdata.com/data-recovery-3tb-seagate-hard-drive/>:
- Akman, A. S., 2009, Raptor Kodları Kullanarak Jpeg 2000 Videolarında Hata Kurtarımı Üzerine Bir Çalışma, *Ege Üniversitesi* 106.
- AllMemoryCards, 2008, microSD - TransFlash, <https://web.archive.org/web/20081012062424/http://www.allmemorycards.com/micro-sd.htm>: [14.04.2022].
- Altheide, C. ve Carvey, H., 2011, Disk and File System Analysis, In: Disk and File System Analysis, Eds: Davidson, R., 225 Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA: Elsevier, p. (39-93).
- APRO Corporation, 2019, SLC Industrial 1.8" Micro SATA III SSD HERMES-HR Series.
- Arvika Data Recovery, 2013, Monolith Database <http://odzyskiwanie-danych.com.pl/monolith-database.html>
- ATSB, 2017, Final Report, http://www.atsb.gov.au/publications/investigation_reports/2017/air/ae-2017-107/final-report/:
- Ayar, Y. Y., 2010, Design And Simulation Of A Flash Translation Layer Algorithm, *Middle East Technical University*, 73.
- Ban, A., Moran, D. ve Ogdan, O., 1999, Architecture for a universal serial bus-based PC flash disk. USA.
- Bell, G. ve Boddington, R., 2010, Solid State Drives: The Beginning of the End for Current Practice in Digital Forensic Recovery?, *Journal of Digital Forensics, Security and Law*, 5.
- Blizzard, D., 2018, How To Repair a USB Flash Drive, www.blizzarddr.com/how-to-repair-usb-flash-drive/:
- Blu-ray Disc Association, 2010. R3 Format Specification. 2022, 14.03.2022. Erişim Adresi, <https://blu-raydisc.info/format-spec/r3-spec.php>.
- Boukhobza, J. ve Olivier, P., 2017, Introduction, In: Flash Memory Integration, Eds: Boukhobza, J. ve Olivier, P.: Elsevier, p. 127.
- Breeuwsma, M., Jongh, M., Klaver, C., Knijff, R. ve Roeloffs, M., 2007, Forensic Data Recovery from Flash Memory, *Small Scale Digital Device Forensics Journal*, 1.

- Burghardt, A. ve Feldman, A. J., 2008, Using the HFS+ journal for deleted file recovery, *Digital Investigation*, 5, S76-S82.
- Chan, N., 1997, World's smallest solid state storage device sets new industry standard, *WESCON/97 Conference Proceedings*, 484-487.
- Chang, Y.-H., Lin, J.-H., Hsieh, J.-W. ve Kuo, T.-W., 2010, A strategy to emulate NOR flash with NAND flash, *ACM Trans. Storage*, 6 (2), Article 5.
- Chen, X. ve Tomizuka, M., 2011, Spiral Servo Writing in Hard Disk Drives Using Iterative Learning Based Tracking Control, *IFAC Proceedings Volumes*, 44 (1), 5279-5285.
- Chivers, H. ve Hargreaves, C., 2011, Forensic data recovery from the Windows Search Database, *Digital Investigation*, 7 (3), 114-126.
- Clements, M., 2010, How to Enable Support for TRIM, <https://web.archive.org/web/20110812143326/blog.corsair.com/?p=3468>: [25.04.2022].
- CompactFlash Association, 2016. CFexpress Introduces a New Family of High-Performance Removable Media Based on PCIe and NVMe Express. Erişim Adresi.
- Congatec AG, 2020, M.2™ Pinout Descriptions and Reference Designs.
- data_repair, 2017, datarecovery. instagramforbusiness, <https://www.instagram.com/p/BY-6tK7FQWm/?hl=tr>:
- DataSector, 2022, Intel SSD, <https://www.instagram.com/p/Ce0XJk6DVvH/?hl=tr>:
- David, M. S., 2000, The cost of lost data, *Storage Manag. Solut.*, 4 (6), 60-61.
- De Vries, H. J., de Ruijter, J. P. ve Argam, N., 2007, Dominant design or multiple designs: The flash memory card case, *2007 5th International Conference on Standardization and Innovation in Information Technology*, 13-22.
- Dec, K., 2012, AU6983,
- den Uijl, S. ve de Vries, H. J., 2013, Pushing technological progress by strategic manoeuvring: the triumph of Blu-ray over HD-DVD, *Business History*, 55 (8), 1361-1384.
- Doğanay, H. A., 2019, Mobil adli bilişiminin önemi bağlamında hukuki süreç ve delil zinciri kavramı ile yeni nesil mobil cihazların incelenmesinde karşılaşılan güncel zorlukların değerlendirilmesi, *Ankara Üniversitesi, Disiplinlerarası Adli Bilimler Ana Bilim Dalı*.
- Donor Drives LLC, 2012, Hard Drive Circuit Board Replacement Guide or How To Swap HDD PCB, www.donordrives.com/pcb-replacement-guide:
- Doucet, É. ve Boivin, C., 2009, HD DVD Vs. Blu-Ray: The End Of A Battle, *Journal of Business Case Studies (JBCS)*, 5 (3), 11-16.
- Durak, R., 2011, Araştırma Yöntem Ve Teknikleri, <https://atauni.edu.tr/yuklemeler/e6d32be6d3b1ad4dae5f6cc23165e2da.pdf>:
- Exterro Inc., 2021, Custom Carvers, <https://support.exterro.com/support/solutions/articles/69000765593-custom-carvers>:
- Feist, J., 2019, Multi Actuator Technology: A New Performance Breakthrough, <https://blog.seagate.com/craftsman-ship/multi-actuator-technology-a-new-performance-breakthrough/>: [14.03.2022].
- Fujifilm U.S.A. Inc., 2006, DVD-RAM Disc, https://web.archive.org/web/20061017122044/http://www.fujifilmusa.com/JSP/fuji/epartners/conAVProductsDVD-RAM_Disc.jsp: [11.03.2022].

- Fukami, A., Ghose, S., Luo, Y., Cai, Y. ve Mutlu, O., 2017, Improving the reliability of chip-off forensic analysis of NAND flash memory devices, *Digital Investigation*, 20, S1-S11.
- Gin, J., 2020, Reverse-engineering and analysis of SanDisk High Endurance microSDXC card, <https://ripitapart.com/2020/07/16/reverse-engineering-and-analysis-of-sandisk-high-endurance-microsdxc-card/>:
- González Weichselbaum, H., 2018, Optical Disc Archive, *Jornadas de repositorios institucionales de acceso abierto*.
- Grand View Research, 2022, Semiconductor Memory Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (SRAM, MRAM, DRAM, Flash ROM), By Application (Consumer Electronics, Automotive), By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/the-global-semiconductor-memory>:
- GreyD Lab, 2015, Монолиты, <http://greydcode.com/monolith.html>:
- Guo, Y. ve Slay, J., 2010, Data Recovery Function Testing for Digital Forensic Tools, *Advances in Digital Forensics VI*, Berlin, Heidelberg, 297-311.
- Güllüce, Y., Benzer, R. ve Çakır, H., 2016, Adli Bilişimde Silinmiş Dosyaların Kurtarılması Üzerine Karşılaştırmalı Yöntemler, 2, 1 (3), 19-28.
- Güllüce, Y. Z. ve Benzer, R., 2015, Adli bilişimde hard disk arızaları ve arızalı disklerden veri kurtarma yöntemleri, *International Journal of Human Sciences*, 12 (1), 206-225.
- Handwerker, C., Bill, O., Rifer, W., Behdad, S., Cade, W., Fitzpatrick, C., Imholte, D., Jin, H., Lovell, I., McIntyre, T., Nguyen, R., Sabbaghi, M., Spencer, G., Sutherland, J. ve Schaffer, M., 2017, iNEMI White Paper: Value Recovery from Used Electronics.
- Harari, E., 2012, Flash memory — The great disruptor!, *2012 IEEE International Solid-State Circuits Conference*, 10-15.
- HDDZone, 2010, Hard Drive PCB Replacement Guide, www.hddzone.com/conditions.html:
- Hellman, D., Yardy, R. ve Abbott, P., 2000, Innovations.
- Ho, J., Chong, T., Shi, L., Liu, J. ve Lee, G., 1999, Thermal Modeling of Grooved Phase Change Optical Recording Disk, *Japanese Journal of Applied Physics*, 38, 1604-1607.
- Hsu, H.-C., Chung, Y.-L. ve Chan, H.-C., 2013, Research on Coalition Formation in Achieving Compatibility, *Advances in Microelectronic Engineering*, 1 (3), 31-35.
- Hwang, H. ve Park, D., 2015, Selective Recovery of the SSD TRIM Command in Digital Forensics, *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, 4, 307-314.
- Hwu, E. E.-T. ve Boisen, A., 2018, Hacking CD/DVD/Blu-ray for Biosensing, *ACS Sensors*, 3 (7), 1222-1232.
- I_Condone_Pone, 2017, I like my hard drives like I like my zebras, www.reddit.com/r/pcmasterrace/comments/7bz09y/i_like_my_hard_drives_like_i_like_my_zebras/:
- IBM Security ve Ponemon Enstitüsü, 2021, Cost of a Data Breach Report.
- Imec International, 2020, Imec and Globalfoundries Announce Breakthrough in AI Chip, Bringing Deep Neural Network Calculations to IoT Edge Devices, <https://www.imec-int.com/en/articles/imec-and-globalfoundries-announce-breakthrough-in-ai-chip-bringing-deep-neural-network-calculations-to-iot-edge-devices>:

- Internet Live Stats, 2022, Google Search Statistics, <https://www.internetlivestats.com/google-search-statistics/>:
- ITHOPE s.r.o., 2019, WesternDigital WD40EFRX, www.instagram.com/p/B3zQBpxHzDm/?hl=tr:
- ITHOPE s.r.o., 2021, SanDisk SSD U100, www.instagram.com/p/CLPYC6gj8t9/?hl=tr:
- ITHOPE s.r.o., 2022, Samsung EVO 860, www.instagram.com/p/CaHlyxRr78i:
- Jared, 2016a, Samsung USB to SATA PCB Compatability, www.data-medics.com/forum/threads/samsung-usb-to-sata-pcb-compatability.1438:
- Jared, 2016b, Toshiba USB to SATA Guide, www.data-medics.com/forum/threads/toshiba-usb-to-sata-guide.1305/:
- Jarolím, J., 2016, Reconstruction Of Data From Damaged Cd/Dvd, Lisans Tezi, *Brno University Of Technology*, 45.
- JEDEC Solid State Technology Association, 2011. JEDEC Announces Publication of Universal Flash Storage (UFS) Standard. Erişim Adresi, <https://www.jedec.org/news/pressreleases/jedec-announces-publication-universal-flash-storage-ufs-standard>.
- JEDEC Solid State Technology Association, 2019, mSATA Mini SATA III Module MUSE-D Series (JEDEC MO-300B).
- Johnson, R. ve Christie, S., 2009. JTAG 101 IEEE 1149.x and Software Debug. Erişim Adresi.
- Kaloğlu, Ö., 2013, Flash Bellekleri ve Logic Gate Mefhumlarını Yakından Tanıyalım, www.ssdlabs.net/ssd-rehberi/flash-bellekleri-ve-logic-gate-mefhumlarini-yakindan-taniyalim/:
- Kara, Ş., 2013, Veri Kurtarma Yöntemlerinin Başarımlarının Değerlendirilmesi, *Fırat Üniversitesi*, 75.
- Keskin, N., Kıran, A. N., Eğdemir, F. K. ve Eren, T., 2020, Bulut Bilişim Güvenlik Gereksinimlerine Göre Çok-Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Hizmet Sağlayıcı Seçimi, *Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi*, 6 (1), 45-60.
- Kessler, G., 2022, Gck's File Signatures Table, https://www.garykessler.net/library/file_sigs.html:
- Kingston Technology Company, 2021, What is NAND?, <https://www.kingston.com/en/blog/pc-performance/difference-between-slc-mlc-tlc-3d-nand>:
- Korb, S., 2006, Head Stack Replacement: Questions and Answers, hddguru.com/articles/2006.02.17-Changing-headstack-Q-and-A/:
- Li, Z., Shengang, A. ve Quaxin, Z., 2022, A Fine-Grained Flash-Memory Fragment Recognition Approach for Low-Level Data Recovery, *Chinese Journal of Electronics*, 31 (3), 1-8.
- Liu, J. ve Liu, J., 2012, Research of Embedded Linux SD Card Device Driver Based on ARM, *2012 International Conference on Control Engineering and Communication Technology*, 33-36.
- M-Systems Inc, 2003. Two Technologies Compared: NOR vs. NAND White Paper 2022. Erişim Adresi, http://www.maltiel-consulting.com/Nonvolatile_Memory_NOR_vs_NAND.pdf.
- MalwareHunterTeam, 2022, ID Ransomware, <https://id-ransomware.malwarehunterteam.com/>:
- Mao, C.-y., 2013, SSD Trim Operations: Evaluation And Analysis, *National Chiao Tung University*, 31.

- Mas-Torrent, M. ve Rovira, C., 2011, Role of Molecular Order and Solid-State Structure in Organic Field-Effect Transistors, *Chemical Reviews*, 111 (8), 4833-4856.
- Masuoka, F. ve Iizuka, H., 1981, Semiconductor memory device and method for manufacturing the same, Google Patents.
- Michelsoni, R., Crippa, L. ve Marelli, A., 2010, Inside NAND flash memories, Springer Science & Business Media, p.
- Moore, G. E., 2006, Cramming more components onto integrated circuits, Reprinted from *Electronics*, volume 38, number 8, April 19, 1965, pp.114 ff, *IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter*, 11 (3), 33-35.
- Morgan, S., 2020, The 2020 Data Attack Surface Report.
- Morgan, T. D., 2008, Recovering deleted data from the Windows registry, *Digital Investigation*, 5, S33-S41.
- Mustroph, H., Stollenwerk, M. ve Bressau, V., 2006, Current developments in optical data storage with organic dyes, *Angewandte Chemie International Edition*, 45 (13), 2016-2035.
- No More Ransom, 2022, Decryption Tools, www.nomoreransom.org/en/decryption-tools.html:
- ONFI Workgroup, 2021, Open NAND Flash Interface Specification 5.0. Schmidt, K.-U.
- Osman, M., 2021, Wild and Interesting Facebook Statistics and Facts (2022), <https://kinsta.com/blog/facebook-statistics/>: [10.01.2022].
- Osso, R., 1999, Handbook of Emerging Communications Technologies: The Next Decade.
- ÖZBEK, M., 2013, Adli Bilişim Uygulamalarında Orijinal Delil Üzerindeki Hash Sorunları. 1. Uluslararası Adli Bilişim ve Güvenlik Sempozyumu. Elazığ, ÖZBEK, Murat. 1: 1-7.
- Özdemir A., Gülcü Ş., Causes Of Digital Data Loss And Data Recovery Methods, 2nd International 5 Ocak Congress on Applied Sciences, pp. 1-18, 04-05 January 2021, Adana, Türkiye.
- Panasonic Corporation, 2014, "Archival Disc" standard formulated for professional-use next-generation optical discs, <https://news.panasonic.com/global/press/data/2014/03/en140310-2/en140310-2.html>: [14 Mart 2022].
- Panasonic Corporation, 2017. Optical Disc Data Archiving. Erişim Adresi.
- Panasonic Corporation, 2019, Optical Technology, https://panasonic.net/cns/archiver/optical_technology/: [14.03.2022].
- Park, B., Savoldi, A., Gubian, P., Park, J., Lee, S. H. ve Lee, S., 2008, Recovery of Damaged Compressed Files for Digital Forensic Purposes, *2008 International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering (mue 2008)*, 365-372.
- Patel, K. B., 2013, "Blu-Ray Disc Technology" A Safe Investment For Next Generation, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2 (7), 9.
- pinouts.ru, 2022, M.2 (NGFF) connector pinout,
- Recovery HDD, 2018, Atropelado sim senhor... www.instagram.com/p/BoxTBRPIKbV/?hl=tr:
- RecuperoDatos.com, 2020, Monolith Memories Database (MicroSD, SD, Pendrive, ...), <https://datarecoveryhdd.com/monolith-database-microsd-sd-pendrive-cf>:
- Rflashdata.com, 2016, Monolith Flash Database, <https://www.rflashdata.com/monolith-flash-database/>:

- Rope, C., 2007, ENIAC as a Stored-Program Computer: A New Look at the Old Records, *IEEE Annals of the History of Computing*, 29 (4), 82-87.
- Rusolut Sp. z o.o., 2014a, *BurntSD.jpg*, <https://rusolut.com/wp-content/uploads/2014/03/BurntSD.jpg>:
- Rusolut Sp. z o.o., 2014b, The Book. Part1 - Fundamentals.
- Rusolut Sp. z o.o., 2022, Forensic analysis of flash memory using X-RAY and Logic Analyzer. PTXXI 2022 IV Konferencja Naukowa
- Przestępczość Teleinformatyczna XXI Wieku.
- Samsung Electronics Co. Ltd., 2018. High Performance Universal Flash Storage (UFS) Solutions. 6. Erişim Adresi, https://semiconductor.samsung.com/resources/brochure/White_Paper_Samsung_UFS_Card_1806.pdf.
- Sayce, D., 2020, The Number of tweets per day in 2020, <https://www.dsayce.com/social-media/tweets-day/>: [10.01.2022].
- Schroeder, B. ve Gibson, G., 2007, Disk Failures in the Real World: What Does an MTTF of 1, 000, 000 Hours Mean to You?, p.
- SD Card Association, 2020. Physical Layer Simplified Specification v8.00. 305. Erişim Adresi.
- SD Card Association, 2021. SD Standard Overview. Erişim Adresi.
- SerialATA Workgroup, 2003. Serial ATA: High Speed Serialized AT Attachment Erişim Adresi.
- Sestanj, I., 2016, NAND Flash Data Recovery Cookbook - Part 1, p.
- Sestanj, I. ve Edwards, D., 2019, Advanced Data Recovery Techniques: Using Machine Learning in Data Recovery.
- SGdata, 2021, free pinout, <https://www.instagram.com/p/CN3I0DajHmM/?hl=tr>:
- Soft-Center ltd., 2018, Monolith recovery, <https://web.archive.org/web/20181223142647/http://www.flash-extractor.com/services/monolith>:
- Solodov, D. ve Solodov, I., 2021, Data recovery in a case of fire-damaged Hard Disk Drives and Solid-State Drives, *Forensic Science International: Reports*, 3, 100199.
- Sony Corporation, 2013, Sony and Panasonic sign basic agreement to jointly develop standard for professional-use next-generation optical discs, <https://www.sony.com/en/SonyInfo/News/Press/201307/13-0729E/>: [14.03.2022].
- Sony Corporation, 2016. Optical Disc Archive Generation 2 White Paper. Erişim Adresi.
- Sony Corporation, 2020, Optical Disc Archive Cartridge Generation https://pro.sony/en_CZ/pdf/optical-disc-archive-cartridge-generation-3:
- Sony Corporation ve Panasonic Corporation, 2020. White Paper: Archival Disc Technology. 2022, 14.03.2022. Erişim Adresi.
- Spectra Logic Corporation, 2021. Data Storage Outlook 2021. 2022. Erişim Adresi.
- Storage Networking Industry Association, 2013, PCIe SSD 101.
- Şirikçi, A. S., 2013, Veri Kurtarma Açısından Açık Kaynak Kodlu Ve Kapalı Kaynak Kodlu Yazılımların Karşılaştırılması, *Ankara Üniversitesi*, 75.
- Taşkın, S. G., 2016, Ntfs Dosya Sistemindeki Yazılımsal Kaynaklı Silinen Verilerin Kurtarılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi* 75.
- Taylor, J., 1999, DVD-Video: Multimedia for the masses, *IEEE MultiMedia*, 6 (3), 86-92.
- Total-Recovery, 2022, <https://www.instagram.com/p/CaYIOyRjyW0/?hl=tr>:

- Tran, V. ve Park, D.-J., 2020, A survey of data recovery on flash memory, *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 10, 360.
- Tri-State Data Recovery & Forensics LLC, 2020, www.instagram.com/p/CGGW131jvQQ/?hl=tr: [22.06.2022].
- USB Implementers Forum, 2000. Universal Serial Bus Specification Revision 2.0. Erişim Adresi.
- USB Implementers Forum, 2008. Universal Serial Bus 3.0 Specification. Erişim Adresi.
- Winter, R., 2013, SSD vs HDD – data recovery and destruction, *Network Security*, 2013 (3), 12-14.
- Xu, G., Liu, Y., Zhang, X. ve Lin, M., 2012, Garbage collection policy to improve durability for flash memory, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58 (4), 1232-1236.
- Yakut, Ö. F., 2020, Mobil Cihazlar İçin Ekran Parmak İzlerinden Parola Tespiti Yapılarak Yeni Bir Süreç Tanımlama Modelinin Geliştirilmesi Ve Adli Bilişim İncelemesi Yapılması, *Fırat Üniversitesi, Adli Bilişim Mühendisliği* 104.
- Yan, H. ve Yao, Q., 2014, An efficient file-aware garbage collection algorithm for NAND flash-based consumer electronics, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 60 (4), 623-627.
- Yole Développement, 2021. Status of the Memory Industry 2021 - Sample. 2022. Erişim Adresi.
- Zitlaw, C., 2011, The Future of NOR Flash Memory, p.

ÖZGEÇMİŞ

