

گزارش فنی-تجاری

مقایسه هزینه کل مالکیت ذخیره‌سازی بلندمدت داده

Enterprise NAS | Enterprise SAN | HSM + Blu-ray Archive

سناریوی رشد سالانه 50TB/year	افق تحلیل 15 سال	حجم مبنای داده 400TB
---------------------------------	---------------------	-------------------------

مخاطب: مشاوران، مدیران فنی، مدیران زیرساخت و کارشناسان ذخیره‌سازی و دیتاستر

نسخه نهایی - شهریور ۱۴۰۵ / 2026September

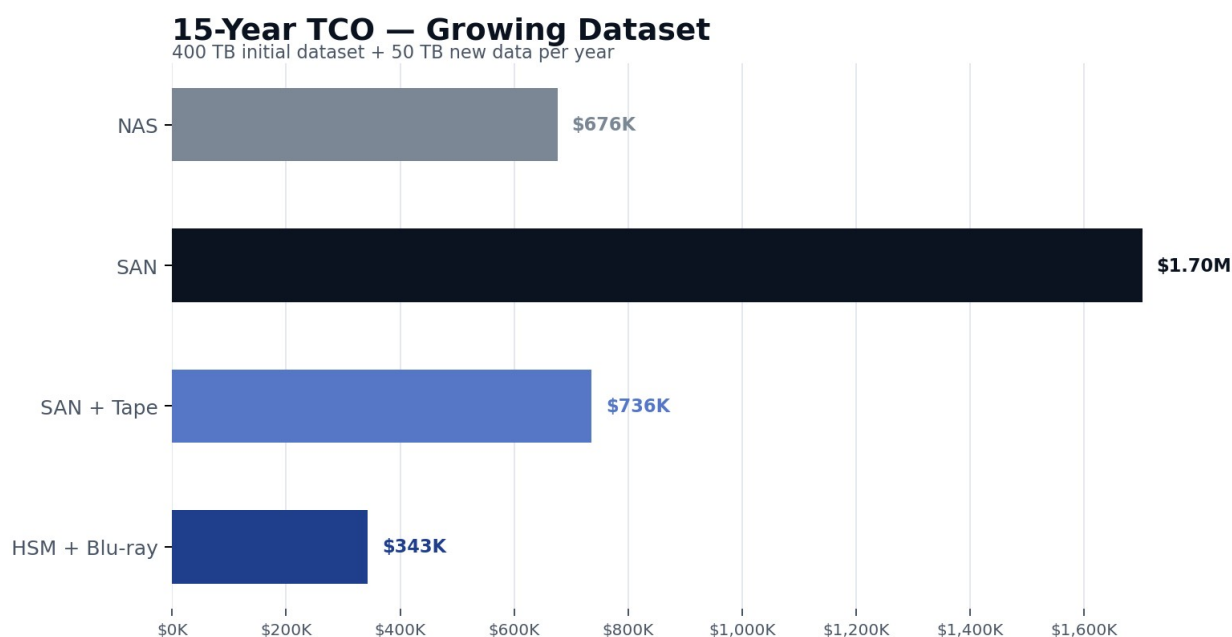
www.chavoosh.com

خلاصه مدیریتی در یک نگاه

هزینه مالکیت 15 ساله
\$343K
 با رشد 50 ترابایت سالانه

هزینه مالکیت 15 ساله
\$268K
 بدون رشد داده

سرمایه اولیه
\$116K
 برای 400 ترابایت داده اولیه



مقایسه هزینه مالکیت 15 ساله زیرساخت ذخیره سازی سلسله مراتبی با سه راهکار دیگر

برای 400 ترابایت داده اولیه و رشد سالانه 50 ترابایت

فهرست

1.	خلاصه مدیریتی	4
2.	دامنه، هدف و روش تحلیل	6
3.	مفروضات فنی ظرفیت گذاری	6
3-1.	NAS و SAN: ماندگاری داده روی دیسک مغناطیسی	6
3-2.	معماری سلسله مراتبی HSM جداسازی از Performance Tier و Retention Tier و بلو-ری	7
4.	سناریوی داده ثابت: 400 ترابایت داده سازمانی	8
4-1.	Enterprise NAS: راهکار اول	8
4-2.	Enterprise SAN: راهکار دوم	9
4-3.	HSM + Blu-ray Archive: راهکار سوم	10
4-4.	مقایسه هزینه مالکیت در دیتاست ثابت با حجم 400 ترابایت	12
5.	سناریوی رشد: 50 ترابایت داده جدید در هر سال	14
5-1.	Enterprise SAN + LTO-9 Tape Archive: سناریوی راهکار چهارم	14
5-2.	مقایسه هزینه مالکیت با رشد سالانه 50 ترابایت	15
6.	عوامل اقتصادی تعیین کننده در این نتیجه	17
6-1.	سرمایه اولیه در برابر هزینه های چرخه عمر	17
6-2.	Headroom و RAID، Spare	17
6-3.	انرژی و فضای مرکز داده	17
6-4.	بازسازی (Refresh) و مهاجرت (Migration)	17
6-5.	رشد داده	17
7.	مزایای فنی که در این بررسی، مستقیماً قیمت گذاری نشده اند	18
8.	جمع بندی، ملاحظات و حدود مدل	19
8-1.	جایگاه فنی راهکارها	19
8-2.	مقایسه ویژگی های فنی	20
	پیوست 1 - پارامترهای مالی و مهندسی مدل	22
	پیوست 2 - ریز محاسبه CAPEX اولیه و هزینه های Refresh	24

1. خلاصه مدیریتی

این گزارش یک مطالعه فنی-اقتصادی برای مقایسه سه روش نگهداری بلندمدت داده ارائه می‌کند: Enterprise NAS، Enterprise SAN و معماری سلسله‌مراتبی HSM با آرشیو Blu-ray. هدف، مقایسه قیمت خرید اولیه نیست؛ بلکه بررسی هزینه کل مالکیت (TCO) در طول چرخه عمر داده و زیرساخت است. یک سناریوی چهارم SAN + LTO Tape هم در تحلیل رشد ۱۵ ساله به‌عنوان گزینه جایگزین آرشیو بررسی می‌شود.

در دو سناریوی اول که HDD-only هستند، کل داده‌ها باید در تمام مدت روی ذخیره‌ساز آنلاین باقی بماند. بنابراین علاوه بر ظرفیت داده، هزینه Hot Spare، RAID، فضای آزاد عملیاتی، برق و خنک‌سازی، فضای رک، پشتیبانی و بازسازی دوره‌ای تجهیزات مغناطیسی نیز به سازمان تحمیل می‌شود. در معماری سلسله‌مراتبی (HSM)، فقط داده‌های عملیاتی روی Cache Disk باقی می‌ماند و داده‌های قدیمی به Optical Media منتقل می‌شوند؛ بخشی از مدیا نیز می‌تواند از سیستم خارج و به صورت آفلاین نگهداری شود.

پیام اصلی

برای ۴۰۰ ترابایت داده، طراحی محافظه‌کارانه NAS/SAN به حدود ۵۴۰ ترابایت ظرفیت خام نیاز دارد. در معماری سلسله‌مراتبی، مدل چرخه عمر ۲۰/۲۰/۶۰ مبنا قرار گرفته است: ۸۰ ترابایت داده فعال روی دیسک مغناطیسی، ۸۰ ترابایت داده Nearline و ۲۴۰ ترابایت Archive. برای پوشش عملکرد Cache و انتقال بین لایه‌ها، ظرفیت نوری داخل دستگاه برابر ۱۰۰ ترابایت در نظر گرفته شده که ۲۰ ترابایت همپوشانی با لایه فعال ایجاد می‌کند؛ در نتیجه کل Optical Media اولیه ۳۴۰ ترابایت است.

خلاصه مقایسه اقتصادی برای ذخیره سازی 400 ترابایت داده ثابت

سناریو	سرمایه‌گذاری اولیه	هزینه مالکیت 10 ساله	هزینه مالکیت 15 ساله
Enterprise NAS	\$50K~	\$176K~	\$262K~
Enterprise SAN	\$130K~	\$448K~	\$659K~
HSM + Blu-ray	\$116K~	\$213K~	\$268K~

در دیتاست ثابت ۴۰۰ ترابایتی، راهکار سلسله‌مراتبی HSM از نظر هزینه کل مالکیت به‌وضوح از SAN سازمانی کم‌هزینه‌تر است. NAS مرجع در افق ۱۵ ساله هنوز اندکی هزینه مالکیت پایین‌تر دارد، اما این نتیجه باید با توجه به تفاوت کلاس فنی NAS بررسی شود؛ NAS در این گزارش صرفاً Baseline اقتصادی است و از نظر ماندگاری داده، دردسترس‌بودن، بازدهی عملیاتی و جداسازی Retention Tier هم‌تراز با SAN یا HSM تخصیصی نیست. با اینحال، با وقوع بازسازی بعدی پس از افق ۱۵ ساله، هزینه تجمعی HSM از NAS نیز پایین‌تر می‌آید.

خلاصه مقایسه اقتصادی با شروع 400 ترابایت و رشد سالانه 50 ترابایت				
HSM + Blu-ray	SAN + LTO Tape	SAN Disk-only	NAS	سال ۱۵
TB 1,150	TB 1,150	TB 1,150	TB 1,150	کل داده سازمان
HSM platform + media 1	SAN + Tape growth 1	SAN blocks 3	NAS blocks 3	مدل ذخیره سازی
\$343K~	\$736K~	\$1.702M~	\$676K~	هزینه مالکیت تجمعی

در تحلیل دیگری با فرض رشد سالانه 50TB، سناریوی چهارم Enterprise SAN + LTO Tape Archive نیز بررسی می شود. در این سناریو، علاوه بر هزینه Library و Media، هزینه مهاجرت دوره ای Tape به نسل های جدید نیز وارد می شود. نتیجه این تحلیل نیز برتری مدیریت سلسله مراتبی داده و آرشیونوری را به خوبی نشان می دهد.

2. دامنه، هدف و روش تحلیل

تحلیل بر مبنای دو نمای مکمل انجام شده است:

- نمای پایه (Static Dataset): مقایسه هزینه مالکیت سه معماری برای 400 ترابایت داده ثابت در افق 10 و 15 سال، با تمرکز بر CAPEX، OPEX و بازسازیهای پنج ساله
- نمای رشد (Growing Dataset): شروع از 400 ترابایت و تولید 50 ترابایت داده جدید در هر سال. در این نما چهار معماری مقایسه می شوند: NAS تمام دیسکی، SAN تمام دیسکی، HSM + Blu-ray و SAN + LTO Tape. سناریوی Tape فقط در همین تحلیل رشد 15 ساله وارد مدل می شود.

تمام اعداد به دلار آمریکا بیان شده اند و ماهیت مدلینگ و برآورد بودجه دارند. هدف، مقایسه معماری ها و رفتار هزینه ای آنهاست؛ قیمت های خرید نهایی باید در مرحله پیشنهاد تجاری با پیشفاکتور واقعی سازندگان و شرایط دیتاسنتر سازمان جایگزین شوند. مشاورین محترم می توانند بر اساس قیمت های بازار و شرایط اختصاصی هر پروژه، بر مبنای روش استفاده شده در این گزارش محاسبات اختصاصی توجیهی را انجام دهند.

3. مفروضات فنی ظرفیت گذاری

3-1. NAS و SAN: ماندگاری داده روی دیسک مغناطیسی

در NAS و SAN Storage، محل اصلی و ماندگار نگهداری دیتا هارد دیسک های مغناطیسی هستند. بنابراین ظرفیت باید علاوه بر حجم خالص داده، فضای آزاد عملیاتی، ظرفیت حفاظت در برابر خرابی دیسک و یدکی را پوشش دهد. در این گزارش، برای 480 ترابایت داده واقعی، 20 درصد فضای بالا سری به همراه Dual-Parity و یک Hot Spare مبنای قرار گرفته است؛ حاصل آن 480 ترابایت ظرفیت قابل استفاده روی حدود 540 ترابایت ظرفیت خام پیشبینی شده است.

پارامتر	مقدار مدل
دیتاست واقعی	400TB
Headroom عملیاتی	20%
Required usable capacity	480TB
نوع حفاظت	Dual-Parity / RAID 6 یا معادل Enterprise
Hot Spare	20TB × 1
HDD reference size	20TB
تعداد HDD معادل	27
Installed raw capacity	540TB
Raw/Data ratio	×1.35

تکه قابل توجه: این طراحی عمداً RAID 5 را مبنا قرار نمی دهد. در دیسکهای 20 ترابایت، Rebuild می تواند مدت طولانی ادامه یابد و Array در این فاصله در وضعیت Degraded باقی می ماند. Dual-Parity یا فناوری معادل Enterprise، احتمال از دست رفتن داده در اثر خرابی دوم حین Rebuild را کاهش می دهد و برای مقایسه با یک سامانه آرشیوی با ماندگاری بالا، مبنای فنی قابل دفاع تری است.

3-2. معماری سلسله مراتبی HSM جداسازی Performance Tier از Retention Tier و بلوری

در معماری HSM، چرخه عمر داده از لایه Performance جدا می شود. برای مدل سازی این گزارش، الگوی ۲۰/۲۰/۶۰ به عنوان یک برداشت مهندسی از الگوی جهانی داده های فعال و سرد استفاده شده است: ۲۰٪ داده آنلاین و خواندنی/نوشتنی، ۲۰٪ داده Nearline و ۶۰٪ داده آرشیو. منابع صنعت آرشیو عموماً حدود ۲۰٪ داده فعال و حدود ۸۰٪ داده سرد/آرشیوی را گزارش می کنند. در این طراحی، ۸۰ ترابایت Cache Disk نقش لایه فعال را دارد و نسخه ماندگار آرشیو نیست؛ بنابراین الزامات ظرفیت گذاری بلندمدت NAS/SAN مانند ۲۰٪ Headroom و Dual-Parity به عنوان الزام Retention به این Cache تحمیل نشده است.

لایه چرخه عمر	سهم منطقی	حجم منطقی	ظرفیت فیزیکی در مدل	نقش
فعال/آنلاین	۲۰٪	۸۰ ترابایت	۸۰ ترابایت HDD Cache	داده خواندنی/نوشتنی، Recall، Staging و Performance
Nearline	۲۰٪	۸۰ ترابایت	۱۰۰ ترابایت بلو-ری داخل Library	۸۰ ترابایت Nearline به علاوه ۲۰ ترابایت همپوشانی با لایه Cache برای انتقال و پوشش عملکرد
Archive	۶۰٪	۲۴۰ ترابایت	۲۴۰ ترابایت بلو-ری خارج از Library	Offline / Deep Archive و نگهداری در Vault
جمع منطقی		۴۰۰ ترابایت	۴۲۰ ترابایت ظرفیت فیزیکی لایه ها	۲۰ ترابایت اضافه ناشی از همپوشانی Cache و Optical داخل دستگاه است

نکته معماری

در HSM، ماندگاری بلندمدت از Performance Tier جدا می شود. مجموع ظرفیت فیزیکی ۴۲۰ ترابایت است، اما Dataset منطقی ۴۰۰ ترابایت باقی می ماند؛ ۲۰ ترابایت اضافه برای همپوشانی کنترل شده بین Cache و Optical داخل Library در نظر گرفته شده است. خرابی یا Refresh شدن Disk Cache به معنای از دست رفتن Archive نیست، زیرا نسخه ماندگار داده های Cold روی Optical Media قرار دارد.

4. سناریوی داده ثابت: 400 ترابایت داده سازمانی

در نمای اولیه، فرض می‌کنیم سازمان نیازمند ایجاد یک زیرساخت 400 ترابایتی است. این زیرساخت را با سه راه‌های مختلف بررسی و مقایسه می‌نمائیم.

4-1. راه‌کار اول: Enterprise NAS

در این راه‌کار تمام 400 ترابایت داده روی NAS آنلاین باقی می‌ماند. معماری مبنای این سناریو از یک NAS سازمانی U4 با 27 عدد هارد دیسک 20 ترابایتی استفاده می‌کند که 540 ترابایت ظرفیت خام و حدود 480 ترابایت فضای قابل استفاده حفاظت‌شده فراهم می‌کند. این 80 ترابایت فضای آزاد علاوه بر Parity و Hot Spare است و برای رشد کوتاه‌مدت، عملیات Rebuild Snapshot/Metadata، و جلوگیری از بهره‌برداری نزدیک به ظرفیت کامل در نظر گرفته شده است. لازم است تأکید شود که در این گزارش صرفاً به عنوان خط مبنای اقتصادی برای ذخیره‌سازی دیسکی با ظرفیت بالا ارائه شده است و نباید به عنوان راهکاری هم‌تراز با SAN سازمانی یا HSM/Optical Archive از نظر Performance، Availability، Data Durability و سطح حفاظت اطلاعات تفسیر شود.

مقدار / هزینه	مولفه
\$17,000~	NAS chassis
\$28,350~	20TB Enterprise HDD × 27
\$5,000~	NIC / Rails / Spare / Implementation
\$50,350~	Initial CAPEX
700W~	Average IT Load
\$1,285~	Annual Energy + Cooling
4U	Rack footprint
\$4,800~	Annual Rack cost
\$2,014~	Annual Support / Maintenance
\$8,100~	Annual OPEX
years 5	Refresh cycle
\$45,000~	Refresh allowance

نکته کلیدی این است که در هر بازسازی، تمام 400 ترابایت داده و ظرفیت حفاظتی مرتبط با آن دوباره باید روی نسل جدید ذخیره‌ساز تأمین شود.

4-2. راه‌کار دوم: Enterprise SAN

در راه‌کار SAN محل دیتا، همان است و الزامات ماندگاری را دارد، اما علاوه بر Fibre Channel، Storage Array و اجزای Redundant Fabric نیز بخشی از زیرساخت هستند. در عوض فناوری پایدارتر و مهیاتر است. معماری مبنای این سناریو شامل Dual-controller Array، دو FC Switch مستقل، Multipathing، Cabling، SFP، HBA و Support سازمانی است. در نتیجه بخشی از هزینه SAN مربوط به ظرفیت دیسک و بخشی مربوط به Connectivity، Availability و SLA سطح Enterprise

است. البته در بسیاری از موارد عملی، خود تجهیز را نیز افزونه در نظر میگیرند اما در اینجا برای پیشگیری از تورم هزینه‌ها این Mirroring صورت نگرفته است.

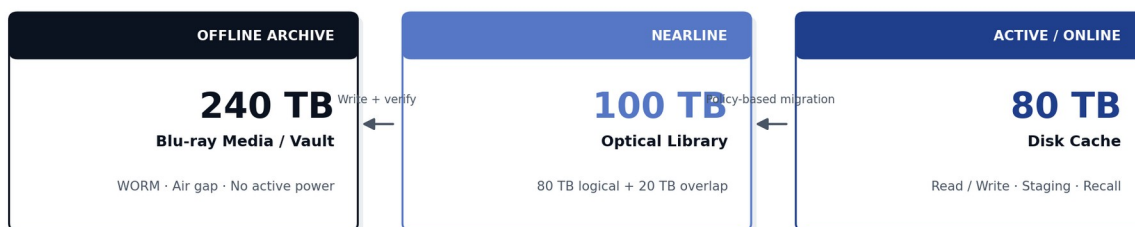
مقدار / هزینه	مولفه
\$90,000~	Enterprise SAN + ~540TB Raw
\$20,000~	Fibre Channel Switch × 2
\$8,000~	Dual-port 32Gb FC HBA × 4
\$4,000~	SFP / Optical / Cabling
\$8,000~	Implementation / Software / Initial Support
\$130,000~	Initial CAPEX
1.35kW~	Average IT Load
\$2,479~	Annual Energy + Cooling
7U~	Rack footprint
\$8,400~	Annual Rack cost
\$10,400~	Annual Enterprise Support
\$21,280~	Annual OPEX
\$105,000~	Refresh allowance / 5 years

SAN برای ماشین‌های مجازی، دیتابیس، IOPS بالا و بارهای Mission-critical مناسب است؛ اما نگهداری Cold Data روی همان زیرساخت به معنی پرداخت هزینه بازدهی و دسترسی پذیری برای داده‌ای است که عملاً به آن نیاز ندارد.

4-3. راهکار سوم: HSM + Blu-ray Archive

HSM / Blu-ray Lifecycle Architecture

400 TB logical dataset | 20% Online · 20% Nearline · 60% Archive



20 TB controlled overlap between cache and optical tier supports staging / recall without changing the 400 TB logical dataset.

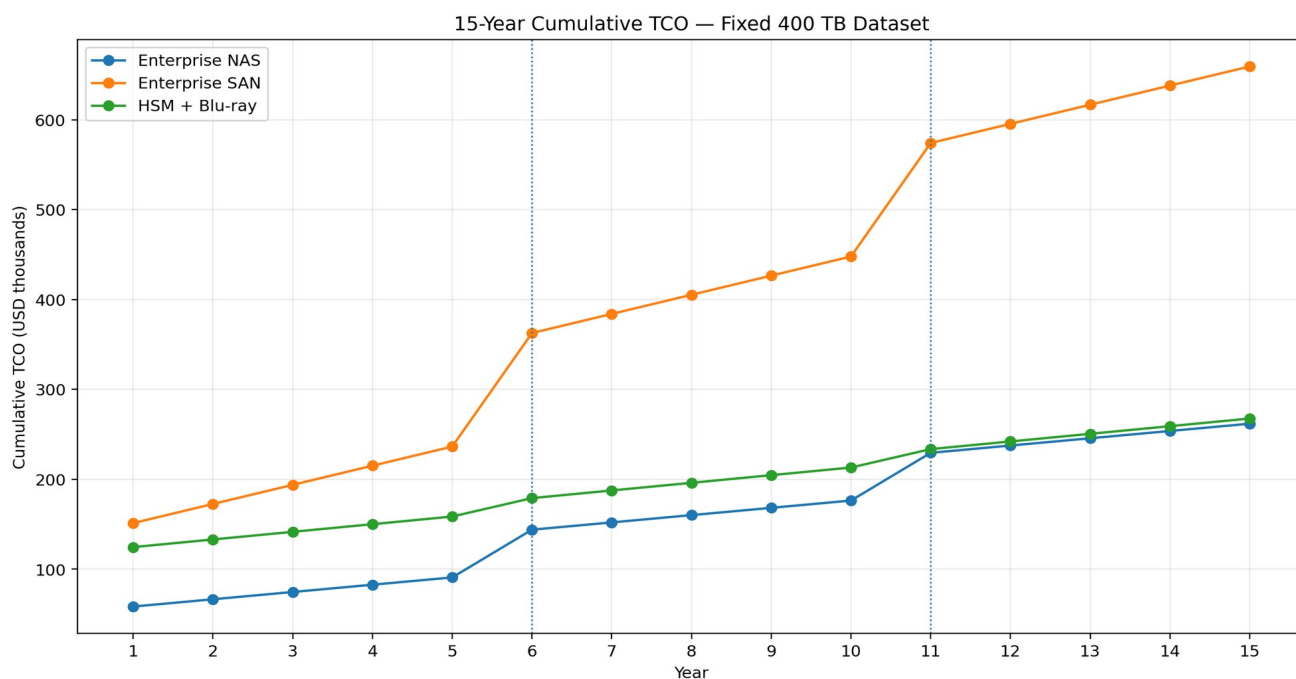
در این راه‌کار، داده براساس چرخه عمر به‌صورت سلسله‌مراتبی مدیریت می‌شود. ۸۰ ترابایت برای داده آنلاین و Cache در نظر گرفته شده است. ۸۰ ترابایت داده Nearline روی Optical Media قرار دارد، اما ظرفیت Optical داخل Library برای پوشش همپوشانی و عملیات Cache/Recall برابر ۱۰۰ ترابایت در نظر گرفته می‌شود. ۲۴۰ ترابایت دیگر، معادل ۶۰٪ کل دیتا، پس از Write و Verification از Library خارج و در صندوق به‌صورت آفلاین نگهداری می‌شود. بنابراین مجموع مدیای نوری اولیه ۳۴۰ ترابایت است و کل ظرفیت فیزیکی لایه‌ها به دلیل ۲۰ ترابایت همپوشانی به ۴۲۰ ترابایت می‌رسد، در حالی که دیتا همچنان ۴۰۰ ترابایت است.

مقدار / هزینه	مولفه
\$12,000~	80TB Disk Cache / Active Tier
\$70,000~	DISC Optical Library + Drives + HSM/Gateway + Licenses
\$32,000~	340TB Blu-ray Media @ ~\$100.2/TB
\$116,000~	Initial CAPEX
600W~	Average IT Load
\$1,100~	Annual Energy + Cooling
\$2,400~	Premium rack – Cache/Gateway
\$500~	Controlled archive area
\$400~	Offline media vault
\$4,100~	Support / Maintenance (model allowance)
\$6,550~	Annual OPEX
\$12,000~	Disk Cache refresh / 5 years

مزیت مدیای آفلاین

در این طراحی ۲۴۰ ترابایت، معادل ۶۰٪ کل دیتا، از Library خارج می‌شود. این بخش از آرشیو دیگر Premium Cooling، Power، RAID، Controller یا Refresh پنج‌ساله ذخیره‌ساز را مصرف نمی‌کند و هزینه جاری آن عمدتاً به نگهداری فیزیکی، مدیریت مدیا و فضای صندوق امن محدود می‌شود.

4-4. مقایسه هزینه مالکیت در دیتاست ثابت با حجم 400 ترابایت



شکل 1- هزینه مالکیت (TCO) تجمعی سه معماری در افق 15 سال برای دیتاست ثابت 400 ترابایتی

شاخص	NAS	SAN	HSM + Blu-ray
سرمایه‌گذاری اولیه CAPEX	\$50.4K	\$130K	\$116.1K
هزینه سالانه OPEX	\$8.1K	\$21.3K	\$8.5K
هزینه مالکیت TCO در 10 سال	\$176K	\$448K	\$213K
هزینه مالکیت TCO در 15 سال	\$262K	\$659K	\$268K
بازسازی هر 5 سال یکبار	\$45K	\$105K	\$12K (Cache)

هزینه سرمایه اولیه HSM با راهکار شرکت DISC و ۳۴۰ ترابایت بلو-ری باعث می‌شود NAS مرجع در افق ۱۰ و ۱۵ سال از نظر هزینه تجمعی اندکی پایین‌تر باقی بماند. با این حال، SAN سازمانی همچنان فاصله هزینه مالکیت بیشتری از HSM دارد. همچنین

مقایسه مستقیم HSM و NAS باید با در نظر گرفتن تفاوت سطح سرویس و کلاس فنی انجام شود؛ NAS این گزارش یک Baseline اقتصادی است، نه جایگزین هم تراز برای الزامات Enterprise Archive.

مقایسه	۱۰ سال	۱۵ سال	برابری عملکرد
HSM در برابر NAS	~\$37K هزینه بیشتر / ~%21	~\$6K هزینه بیشتر / ~%2	از نظر فنی و قابلیت ها همتا و قابل قیاس نیستند.
HSM در برابر SAN	~\$235K صرفه جویی / ~%52	~\$392K صرفه جویی / ~%59	با در نظر گرفتن چرخه عمر داده، از نظر بازدهی برابر. از نظر ماندگاری داده بلو-ری برتری دارد.

5. سناریوی رشد: 50 ترابایت داده جدید در هر سال

برای بررسی رفتار راهکارها در محیط واقعی تر، در این سناریو سازمان از ۴۰۰ ترابایت شروع می کند و هر سال ۵۰ ترابایت داده جدید تولید می کند. در HSM، اندازه لایه های Online و Nearline به عنوان Working Window ثابت نگه داشته می شود و با پیشروی چرخه عمر، داده های قدیمی تر به Optical Media آفلاین منتقل می شوند؛ بنابراین هزینه افزایشی اصلی خرید Media جدید است. در NAS/SAN تمام دیسکی، افزایش Dataset به توسعه Storage منجر می شود. در این بخش رک راهکار چهارم SAN + LTO-9 Tape برای ذخیره داده آرشیو اضافه می شود.

5-1. راهکار چهارم: Enterprise SAN + LTO-9 Tape Archive

در این گزینه، SAN سازمانی همچنان لایه آنلاین و محل نگهداری Dataset اولیه است، اما رشد بلندمدت داده به جای خرید Enclosure/Array دیسکی جدید، به Tape منتقل می شود. مبنای این سناریو، LTO-9 با ظرفیت Native برابر 18 TB در هر کارتریج است؛ بنابراین برای 50 ترابایت رشد سالانه، سه کارتریج در سال (حدود 54 ترابایت ظرفیت Native) خریداری می شود. ظرفیت فشرده شده در محاسبات استفاده نشده است تا نتیجه به قابلیت فشرده سازی داده وابسته نباشد.

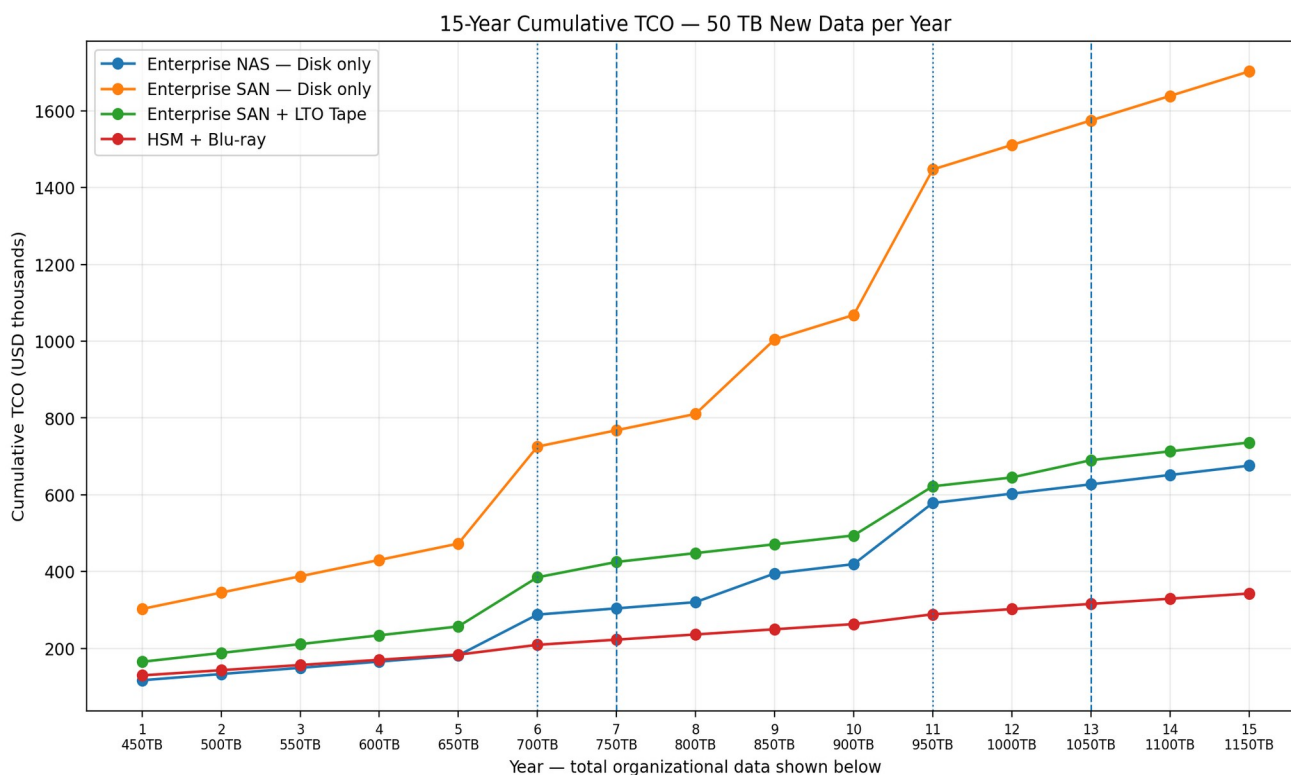
برای این سناریو، 12 هزار دلار به عنوان Modeling Allowance اولیه برای Tape Library و Drive، حدود 1500 دلار در سال برای Support/Power/Handling و حدود 285 دلار در سال برای سه کارتریج در نظر گرفته شده است. SAN اصلی در سال های 6 و 11 رفرش می شود. علاوه بر آن، برای بازتاب محدودیت سازگاری نسل های LTO، یک برنامه مهاجرت هر دو نسل در مدل لحاظ شده است؛ این چرخه تقریباً هر 6 سال و در سال های 7 و 13 اعمال می شود.

مقدار مدل	پارامتر سناریوی SAN + Tape
400TB Dataset / همان SAN سناریوی دوم	SAN پایه
LTO-9 / 18TB Native per cartridge	Tape technology
cartridges $\approx$ 54TB Native / year 3	رشد سالانه روی Tape
\$12K initial allowance	Tape Library + Drive
\$1.785K/year~	Tape OPEX + annual media
Every 2 generations $\approx$ Years 7 and 13 in 15-year model	Tape migration policy
\$12K tech refresh + new media for all tape data + \$10/TB read/write/verify allowance	Migration cost model

منطق توسعه ظرفیت

در NAS و SAN تمام دیسکی، هر بلوک Storage در مدل برای حدود 400 ترابایت دیتای عملیاتی ساین شده است؛ بنابراین با عبور از ظرفیت طراحی، باید یک سخت افزار جدید اضافه شود. در سناریوی SAN، SAN + Tape پایه ثابت می ماند و رشد سالانه 50 ترابایت به Tape منتقل می شود؛ در HSM نیز رشد آرشیوی با مدیای آفلاین پاسخ داده می شود.

5-2. مقایسه هزینه مالکیت با رشد سالانه 50 ترابایت



شکل 2- هزینه مالکیت تجمعی 15 ساله دیتای 400 ترابایتی با رشد سالانه 50 ترابایت؛ چهار معماری با لحاظ مهاجرت دوره های Tape در سال های 7 و 13

در سناریوی رشد، SAN + Tape نسبت به SAN تمام دیسکی هزینه توسعه ظرفیت را به طور معنی داری کاهش می دهد، اما Tape یک مدیای مستقل از چرخه عمر فناوری نیست و مهاجرت نسل ها همچنان هزینه ایجاد می کند. هزینه مالکیت پانزده ساله HSM + Blu-ray به حدود ۳۴۳ هزار دلار می رسد؛ این رقم به وضوح پایین تر از سایر راه کارها دیده می شود.

سال ۱۵	NAS	SAN Disk-only	SAN + LTO Tape	HSM + Blu-ray
کل داده سازمان	TB 1,150	TB 1,150	TB 1,150	TB 1,150
مدل ذخیره سازی	NAS blocks 3	SAN blocks 3	SAN + Tape growth 1	HSM platform + media 1
هزینه مالکیت تجمعی	\$676K~	\$1.702M~	\$736K~	\$343K~

نتیجه سناریوی رشد

در پایان سال ۱۵، هزینه مالکیت تجمعی نمای رشد تقریباً ۳۴۳ هزار دلار برای HSM+Blu-ray، و 676 هزار دلار برای NAS تمام دیسکی، ۷۳۶ هزار دلار برای SAN + LTO Tape با مهاجرت دوره ای، و ۱.۷ میلیون دلار برای SAN تمام دیسکی است. معماری HSM در سناریوی رشد حتی در مقایسه با آرشیو Tape پایین ترین هزینه تجمعی را دارد.

6. عوامل اقتصادی تعیین‌کننده در این نتیجه

6-1. سرمایه اولیه در برابر هزینه های چرخه عمر

NAS در سناریوی پایه کمترین هزینه اولیه را دارد؛ بنابراین مقایسه صرفاً بر مبنای قیمت خرید اولیه می‌تواند گمراه‌کننده باشد. مزیت HSM در طول زمان و با جلوگیری از Full-capacity Refresh آشکار می‌شود.

6-2. Headroom و RAID، Spare

راهکارهای فقط دیسک، 400 ترابایت داده به 540 ترابایت ظرفیت خام تبدیل می‌شود. این یعنی 35 درصد ظرفیت بیشتر ذخیره ساز. این ظرفیت اضافه باید خریداری، روشن، خنک و Refresh شود.

6-3. انرژی و فضای مرکزداده

صرفه‌جویی انرژی به‌تنهایی عامل غالب تاثیرگذار نیست، اما با گذشت زمان اثر تجمعی دارد. مزیت بزرگ‌تر، کاهش Premium Rack Capacity و امکان انتقال مدیای آفلاین به فضای Controlled Archive/Vault است. ضمن اینکه مدیای نوری، امکان استقرار تجهیزات در مکان‌های دورتر و امن‌تر را فراهم می‌کند.

6-4. بازسازی (Refresh) و مهاجرت (Migration)

هر بازسازی در راهکارهای مبتنی بر دیسک مغناطیسی سازمان را مجبور می‌کند ظرفیت داده قدیمی را مجدداً روی نسل جدید تأمین کرده و سپس Validation، Migration و Cut-over را انجام دهد. هزینه مستقیم سخت‌افزار فقط بخشی از این فرآیند است. در روش نوری سلسله‌مراتبی، داده از چرخه رفرش دیسک خارج می‌شود و تنها Tier عملیاتی کوچک‌تر رفرش می‌شود؛ در نتیجه هم هزینه و هم حجم انتقال کاهش می‌یابد.

6-5. رشد داده

در محیط‌های واقعی با رشد داده مستمر، تفاوت اقتصادی بارزتر است؛ زیرا NAS/SAN با عبور از آستانه‌های ظرفیت به Enclosure یا Array جدید نیاز دارند، در حالی که Archive Optical می‌تواند عمدتاً با افزودن مدیا رشد کند.

7. مزایای فنی که در این بررسی، مستقیماً قیمت گذاری نشده اند

مدل مالی فوق عمده‌اً محافظه کارانه است و ارزش اقتصادی موارد زیر را به دلار تبدیل نکرده است:

- WORM و تغییرناپذیری داده: مدیای نوری می‌تواند برای Retention بلندمدت، نسخه‌ای مستقل و غیرقابل بازنویسی از داده ایجاد کند.
- Air Gap فیزیکی: مدیای خارج شده از Library از شبکه و زیرساخت عمیات جدا می‌شود و سطح حمله را کاهش می‌دهد.
- تاب‌آوری در برابر Ransomware: آرشیو آفلاین مستقیماً در دسترس بدافزار یا حساب کاربری آلوده در شبکه نیست.
- کاهش عملیات نگهداری و پشتیبانی: داده‌های ذخیره شده بر روی WORM نیاز به پشتیبان‌گیری فعال ندارد. این بخش از داده از داده‌های عملیاتی جدا شده و عملاً بار تهیه پشتیبان و زمان بازگردانی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.
- کاهش مهاجرت‌های دوره‌ای: بخش نوری فضای ذخیره سازی در هر نوسازی پنج‌ساله مجبور به انتقال کامل به نسل جدید دیسک مغناطیسی نیست و هزینه نیروی انسانی و خدمات جانبی را ندارد.
- کاهش ریسک عملیاتی انتقال: انتقال چندصد ترابایت داده نیازمند Network Capacity، Verification و نیروی مهندسی است؛ حذف بخشی از این چرخه ریسک را کم می‌کند.
- کاهش وابستگی به RAID Rebuild: مدیای آفلاین عضو RAID Array فعال نیست و در معرض Rebuild های طولانی هارد دیسک‌های پر ظرفیت قرار نمی‌گیرد.
- Worm، Compliance و Chain of Custody : Media Inventory و امکان نگهداری Vault می‌توانند کنترل‌های حاکمیتی و ممیزی را تقویت کنند.
- رشد ظرفیت با مدیا به جای سخت افزار: برای Deep Archive، افزایش حجم عمده‌اً با خرید مدیا انجام می‌شود و الزاماً به Enclosure، Rack یا Controller جدید نیاز ندارد.
- افزونگی زیرساخت SAN: در عمل، برای تضمین امنیت زیرساخت، حذف Single Point of Failure و حفظ تداوم سرویس، اجزای کلیدی SAN در بسیاری از سازمان‌ها باید به صورت افزونه و دوگانه تأمین شوند. مدل TCO این گزارش هزینه افزونگی فراتر از Dual Controller و Fabric پایه فرض شده را مستقیماً قیمت گذاری نکرده است؛ در صورت نیاز به Site Redundancy، دوم یا افزونگی کامل تجهیزات، هم CAPEX اولیه و هم هزینه‌های Power، Support و Refresh افزایش خواهد یافت.

نتیجه قابل توجه

اگر هزینه‌های ریسک و نیروی انسانی انتقال نیز محاسبه شوند، فاصله اقتصادی HSM می‌تواند بیشتر از اعداد مستقیم هزینه مالکیت زیرساخت که این گزارش محاسبه شده است باشد.

8. جمع بندی، ملاحظات و حدود مدل

این گزارش یک مدل مقایسه معماری است و نباید به عنوان پیشفاکتور خرید تلقی شود. متغیرهای زیر باید در محاسبات نهایی اقتصادی پروژه با اعداد واقعی جایگزین شوند:

- قیمت واقعی Optical Library، تعداد Drive ها، HSM/Gateway Software و قرارداد Support
- قیمت خرید واقعی Blu-ray/BDXL Media در حجم سازمانی و سیاست نگهداری Media یدی
- هزینه واقعی Rack, Power و Cooling در دیتاسنتر سازمان و محل استقرار Optical Library / Vault
- PUE و تعرفه برق محل بهره برداری، این دو پارامتر بر OPEX انرژی هر سه معماری اثر مستقیم دارند.
- نرخ و دامنه قراردادهای Maintenance/Support برای FC Fabric, SAN, NAS و سامانه HSM
- Retention Policy، نرخ رشد واقعی Dataset، نسبت Hot/Warm/Cold Data و الگوی Recall، این پارامترها تعیین کننده نقطه سربه سر نهایی هستند.

برای داده های فعال و بارهای حساس به بازدهی عملیاتی، راهکارهای مبتنی بر هارد دیسک و به ویژه SAN برای Workload های Block/Transactional همچنان جایگاه اصلی خود را دارد. مسئله زمانی ایجاد می شود که همان زیرساخت به عنوان محل دائمی نگهداری حجم بزرگی از داده های کم مصرف استفاده شود؛ در این حالت سازمان برای داده سرد خود نیز هزینه، Performance، Availability، RAID، Power، Cooling، Support می کند.

برای نگهداری بلندمدت داده های سازمانی، نسبت بالای Cold Data، الزامات WORM/Air Gap یا رشد مستمر Archive، توصیه می شود معماری ILM/HSM به عنوان جایگزین Flat Disk Retention در مرحله طراحی و بودجه گذاری ارزیابی شود.

8-1. جایگاه فنی راهکارها

جایگاه فنی	نقش اصلی	سطح سرویس	جایگاه در این گزارش
Enterprise NAS	High-capacity File Storage	Online File Shared Data	Baseline اقتصادی؛ نه راهکار هم تراز با SAN/HSM
Enterprise SAN	Enterprise Primary Block Storage	Database, VM, Mission-critical Storage	Reference برای Storage سازمانی Online
SAN + Tape	Enterprise Primary + Offline Archive	SAN For Active Data Tape For Archive	Alternative فقط در سناریوی رشد ۱۵ ساله
HSM + Blu-ray	Enterprise ILM & Long-term Archive	Tiering, WORM/Offline Archive Retention	راهکار اصلی Long-term Archive مورد بررسی

8-2. مقایسه ویژگی های فنی

ویژگی فنی

HSM + Blu-ray	SAN + Tape	Enterprise SAN	Enterprise NAS	نوع دسترسی اصلی
HSM / File Archive	SAN Block + Tape Archive	Block-level: FC/ISCSI	File-level: SMB/NFS	Performance
Cache: بالا Optical: پایین تر	SAN: بسیار بالا Tape: پایین	بسیار بالا	متوسط تا خوب	بازدهی عملیاتی
Archive Tier: خیر	بله روی SAN	بله	محدود / وابسته به Workload	مناسب Database/VM سنگین
برای Media Archive الزام پایه نیست	SAN: Dual Fabric	Dual FC Fabric Multipath	Ethernet redundancy	Redundant Storage Fabric
بسیار کم	Tape کم پس از انتقال به	بالا برای داده روی SAN	بالا	وابستگی RAID به Retention
ذاتی روی WORM Optical Media	قابل ارائه با LTO WORM	با قابلیت های مکمل	قابل ارائه نرم افزاری	WORM Immutability
بله، با خروج Media	بله، با خروج Tape	خیر	خیر	Physical Air Gap
بله	بله	خیر	خیر	Removable Media
بله، کاهش به صفر	بله، کاهش به صفر	امکان ندارد؛ داده روی SAN Online	امکان ندارد؛ همه داده Online HDD	کاهش مصرف انرژی مدیای آفلاین
Cache Disk فقط	SAN Refresh Tape migration	کل داده	کل داده	مهاجرت در بازسازی ذخیره ساز
در افق مدل برای Optical لازم فرض نشده	بله؛ محدودیت مهم Tape	همراه بازسازی	همراه بازسازی	مهاجرت در تغییر فناوری
بله	بله	خیر	خیر	Retention طولانی بدون برق
بله	بله	خیر	خیر	رشد ظرفیت مستقل از سخت افزار پایه
بسیار مناسب	مناسب تا بسیار مناسب	اقتصادی نیست	محدود / غیر بهینه	مناسب Cold/Deep Archive
Enterprise Archive ILM	Enterprise SAN + Archive	Enterprise Primary Storage	Baseline Enterprise File Storage	کلاس سرویس

نتی

جمع: ارزش ILM/HSM در «ارزان تر بودن یک مدیا» خلاصه نمی شود؛ ارزش اصلی در جداسازی بازدهی عملیاتی از نگهداری بلندمدت، جداسازی آرشیو از بازسازی سخت افزار و جدا کردن Total Archive Capacity از Installed Online Capacity است. در طراحی واقعی، HSM مکمل SAN و سایر لایه های موجود است و کاربرد آن حفظ هر گروه داده روی لایه متناسب با مرحله چرخه عمر آن است.

در نمای داده ثابت ۴۰۰ ترابایتی، HSM حدود ۱۱۶ هزار دلار، و در افق ۱۵ ساله با رشد داده هزینه مالکیت حدود ۲۶۸ هزار دلار دارد؛ این عدد بسیار پایین تر از SAN سازمانی است، هرچند NAS مرجع اقتصادی با حدود ۲۶۲ هزار دلار اندکی پایین تر باقی می ماند. این اختلاف کوچک نباید به عنوان برابری فنی NAS با HSM تفسیر شود. در سناریوی رشد ۵۰ ترابایت در سال، مزیت اقتصادی معماری سلسله مراتبی آشکارتر می شود و HSM با هزینه مالکیت حدود ۳۴۳ هزار دلار پایین تر از هر سه گزینه دیگر قرار می گیرد.

باید توجه داشت که آنچه در این گزارش به صورت مقایسه راهکارها در مقابل یکدیگر ارائه شده، صرفاً با هدف مقایسه هزینه مالکیت بلندمدت و روشن سازی مزیت اقتصادی و فنی معماری سلسله مراتبی Blu-ray است. در سناریوهای واقعی، به دلیل ملاحظات عملیاتی و زیرساخت موجود سازمان، پیاده سازی نهایی معمولاً ترکیبی از SAN، ساختار Blu-ray و در صورت وجود NAS خواهد بود و این لایه ها به صورت سلسله مراتبی در کنار هم کار می کنند. نتیجه اصلی گزارش این است که در مراحل بعدی توسعه ظرفیت، با توجه به

ماهیت چرخه عمر داده، در نظر گرفتن این ساختار علاوه بر مزیت های فنی و حفاظت از داده که رکن اصلی انتخاب است، می تواند مزیت اقتصادی قابل توجهی نیز ایجاد کند.

پیوست 1 - پارامترهای مالی و مهندسی مدل

پارامتر	مقدار
Dataset مبنا	400TB
سناریوی رشد	50TB/year
NAS/SAN Headroom	20%
NAS/SAN Protection	Dual-Parity + 1 Hot Spare
NAS/SAN Raw Capacity per 400TB dataset	540TB
HSM lifecycle model	Online / 20% Nearline / 60% Archive 20%
HSM Disk Cache	80TB
HSM Optical inside Library	100TB (80TB Nearline + 20TB overlap)
HSM Offline Optical	240TB
HSM Initial Optical Media	340TB
NAS CAPEX	\$50.35K
SAN CAPEX	\$130K
HSM CAPEX	\$116.068K
NAS Annual OPEX	\$8.10K
SAN Annual OPEX	\$21.28K
HSM Annual OPEX	\$8.502K
NAS Refresh	\$45K / 5 years
SAN Refresh	\$105K / 5 years
HSM Cache Refresh	\$12K / 5 years
50TB Optical Media growth	\$5.01K/year~
Electricity reference	kWh/\$0.1379
PUE reference	1.52
SAN + Tape initial Tape Library/Drive allowance	\$12K

18TB/cartridge	LTO-9 native capacity
cartridges $\approx$ 54TB native/year 3	50TB annual Tape growth
Years 7 and 13 (two-generation proxy)	Tape generation migration
\$736K	SAN + Tape 15-year growth TCO
\$343K	HSM 15-year growth TCO

پیوست 2 – ریز محاسبه CAPEX اولیه و هزینه‌های Refresh

اعداد این پیوست ماهیت برآورد بودجه دارند و برای شفاف‌سازی منطق محاسبه هزینه مالکیت ارائه شده‌اند. قیمت‌های خرید نهایی باید با پیشنهاد قیمت معتبر پروژه جایگزین شوند.

Enterprise NAS – Synology HD6500 class (الف)

هزینه	تعداد / مینا	مولفه / مدل
\$17,000	1	Synology HD6500 chassis
\$28,350	27	Synology HAS5310-20T / 20TB Enterprise HDD
\$5,000	Allowance	NIC / Rails / Spare / Implementation
\$50,350		جمع سرمایه‌گذاری اولیه
هزینه	تعداد / مینا	مولفه Refresh
\$15,000		NAS chassis / controller platform
\$27,000		20TB Enterprise HDD × 27
\$2,000		NIC / rails / spare / miscellaneous
\$1,000		Migration / commissioning allowance
\$45,000		جمع بازسازی پنج‌ساله

Enterprise SAN – Dell PowerVault ME5084 class (ب)

هزینه	تعداد / مینا	مولفه / مدل
\$90,000	configuration 1	Dell PowerVault ME5084-class dual-controller SAN + ~540TB Raw
\$20,000	2	32Gb FC Switch – Brocade G610 class
\$8,000	4	Dual-port 32Gb FC HBA – QLogic 2772 class
\$4,000	Allowance	SFP / Optical / FC Cabling
\$8,000	Allowance	Implementation / Software / Initial Support
\$130,000		جمع سرمایه‌گذاری اولیه
هزینه	تعداد / مینا	مولفه Refresh

\$55,000	SAN array / controllers / enclosure
\$30,000	HDD capacity ~540TB Raw
\$8,000	Partial FC infrastructure / optics / HBA refresh
\$7,000	Software / licenses / migration services
\$5,000	Installation / commissioning / contingency
\$105,000	جمع بازسازی پنج ساله

ج) HSM + Blu-ray – DISC Optical Platform

هزینه	مبنا	مولفه / مدل
\$12,000	Enterprise cache storage	80TB Disk Cache / Active Tier
\$70,000	قیمت مبنای پروژه	DISC Optical Library + Drives + HSM/Gateway required licenses
\$34,068	340TB × ~\$100.2/TB	Blu-ray Media
\$116,068		جمع سرمایه گذاری اولیه
هزینه		Refresh مولفه
\$9,000		Disk Cache / Active Tier replacement
\$2,000		Cache controller / interface allowance
\$1,000		Installation / reconfiguration
\$12,000		جمع Refresh پنج ساله Cache
	بدون Refresh دوره ای در افق مدل	Optical Media
	در مدل پایه Refresh پنج ساله برای آن لحاظ نشده است	DISC Library

د) SAN + LTO-9 Tape – سناریوی رشد ۱۵ ساله

هزینه مدل	مبنا	مولفه / مدل
\$130,000	همان SAN سناریوی دوم	Enterprise SAN
\$12,000	Modeling allowance	HPE StoreEver MSL2024-class + 1 × LTO-9 Drive
\$142,000		جمع CAPEX اولیه معماری
~\$285/year	cartridge / ~54TB native 3	LTO-9 Media سالانه
مبنای هزینه		رویداد Lifecycle
\$105K در هر رویداد		SAN Refresh – سال های ۶ و ۱۱
\$12K در هر رویداد		Tape technology refresh – سال های ۷ و ۱۳
300TB Tape data~ جدید برای Media		Migration media – سال ۷
300TB × \$10/TB Read/Write/Verify~		Migration operations – سال ۷
600TB Tape data~ جدید برای Media		Migration media – سال ۱۳
600TB × \$10/TB Read/Write/Verify~		Migration operations – سال ۱۳



مهندسی زیرساخت‌های فناوری برای سازمان‌های بزرگ و اپراتورها

تهران، فرمانیه، خیابان جهانبخش نژاد، نبش نارنجستان یکم، پلاک 9 واحد 203

www.chavoosh.com

تلفن: 021-26111923

اصفهان، ابتدای خیابان فردوسی، پلاک 5، طبقه دوم

info@chavoosh.com

تلفن: 031-32200200