



دانشگاه صنعتی شریف

# HDMI

مدارهای واسط

مستند ارائه

علی صف آرافرد

۹۹۱۰۵۵۸۳

## «مقدمه و تاریخچه»

HDMI مخفف کلمه‌ی High-Definition Multimedia Interface یک استاندارد برای انتقال همزمان تصاویر و صدا به صورت دیجیتال از یک دستگاه به دستگاه دیگر است. این فناوری به طور گسترده در تلویزیون‌ها، مانیتورها، کنسول‌های بازی، پخش کننده‌های بلوری، و سایر دستگاه‌های چندرسانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. HDMI جایگزین رابط‌های آنالوگ قدیمی مانند DVI، VGA و AV شد و کیفیت بالاتر، پایداری بیشتر و قابلیت‌های پیشرفته‌ی گوناگونی را برای کاربران فراهم کرد.

در اوایل دهه ۲۰۰۰، نیاز به یک **رابط واحد دیجیتال** که بتواند ویدئو و صدا را **همزمان** منتقل کند، بیش از پیش احساس می‌شد. رابط‌های قدیمی مانند DVI تنها امکان انتقال ویدئو را داشتند و کاربران مجبور بودند برای صدا از کابل‌های جداگانه‌ای مانند جک ۳.۵ میلی‌متری یا کابل‌های RCA استفاده کنند. علاوه بر این، روش‌های قدیمی مانند VGA و Component Video کیفیت پایینی داشتند و انتقال تصویر در آنها مستلزم تبدیل آنالوگ به دیجیتال بود که باعث کاهش کیفیت نهایی می‌شد.

این استاندارد برای اولین بار در سال ۲۰۰۲ توسط کنسرسیومی متشکل از شرکت‌های Hitachi، Panasonic، Philips، Silicon Image، Sony، Thomson و Toshiba توسعه یافت تا به حل مشکلاتی که بیان شد بپردازد. در واقع به طور خلاصه، هدف از طراحی HDMI ارائه یک رابط دیجیتال واحد بود که بتواند صدا و تصویر را بدون فشرده‌سازی و بدون کاهش کیفیت از منبع به نمایشگر انتقال دهد. بنابراین کنسرسیوم HDMI در سال ۲۰۰۲ نسخه HDMI ۱.۰ را منتشر کردند. این نسخه اولیه قادر به انتقال تصویر دیجیتال با کیفیت ۱۰۸۰p و صدای چندکاناله بود.

در سال‌های اخیر، HDMI با معرفی نسخه‌های جدید، پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است. این پیشرفت‌ها شامل افزایش پهنای باند، پشتیبانی از وضوح‌های بالاتر مانند ۴K و ۸K، بهبود صدای دیجیتال، و قابلیت‌هایی مانند eARC و VRR بوده‌اند. علاوه بر این، HDMI دارای قابلیت‌های امنیتی مانند HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection) است که از کپی برداری غیرمجاز از محتوای دیجیتال جلوگیری می‌کند.

با توجه به اهمیت HDMI در دنیای فناوری و ارتباطات تصویری، در این گزارش به بررسی جنبه‌های مختلف این استاندارد، از جمله تاریخچه، نحوه‌ی انتقال داده‌ها، حفاظت از محتوا، ساختار کابل و پین‌ها، و نسخه‌های مختلف HDMI خواهیم پرداخت.

## «چرا HDMI جایگزین رابط‌های قدیمی شد؟»

اندکی پس از معرفی این استاندارد، بسیاری از تولیدکننده‌های دستگاه‌های چندرسانه‌ای اقبال خود را به این استاندارد نشان دادند. پس از مدتی این استاندارد به یک استاندارد جهانی تبدیل شد و امروزه تقریباً جایگزین تمامی روش‌های انتقال تصویر و صدا بین دستگاه‌ها شده است. در ادامه دلایل این مساله را مطرح می‌کنیم.

## «انگیزه و دلایل توسعه HDMI»

توسعه HDMI با هدف حل مشکلات و محدودیت‌های استانداردهای قدیمی در انتقال صدا و تصویر انجام شد. در اوایل دهه ۲۰۰۰، با گسترش نمایشگرهای دیجیتال و فرمت‌های ویدیویی با کیفیت بالا، نیاز به یک رابط مدرن، یکپارچه و کارآمد بیش از پیش احساس می‌شد. در ادامه، دلایل اصلی توسعه HDMI را بررسی می‌کنیم. برخی از این دلایل در بخش‌های قبل نیز عنوان شدند اما در این بخش با جزئیات بیشتری به توضیح آن‌ها می‌پردازیم.

### ۱. نیاز به یک اتصال دیجیتال واحد

پیش از HDMI، انتقال ویدئو و صدا نیاز به چندین کابل جداگانه داشت. به عنوان مثال:

- در DVI (Digital Visual Interface)، فقط داده‌های تصویری دیجیتال منتقل می‌شد و کاربر باید از کابل‌های صوتی جداگانه (مانند جک ۳.۵ میلی‌متری یا RCA) برای انتقال صدا استفاده می‌کرد.

- در VGA (Video Graphics Array)، که یک رابط آنالوگ بود، علاوه بر کیفیت پایین‌تر، نیاز به تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال در نمایشگر وجود داشت که باعث کاهش کیفیت تصویر می‌شد.

HDMI این مشکل را با ارائه یک کابل واحد برای انتقال هم‌زمان تصویر و صدا حل کرد و باعث سادگی در اتصال دستگاه‌ها و کاهش تعداد کابل‌ها شد.

### ۲. نیاز به انتقال دیجیتال با کیفیت بالا

استانداردهای قدیمی مانند VGA و Component Video از انتقال آنالوگ استفاده می‌کردند. در این روش، داده‌های دیجیتال از منبع ابتدا به سیگنال آنالوگ تبدیل شده و سپس در نمایشگر دوباره دیجیتالی‌سازی می‌شدند که منجر به:

- کاهش وضوح و کیفیت تصویر

- افزایش نویز و تداخل الکترومغناطیسی

- محدودیت در انتقال رزولوشن‌های بالاتر

HDMI با انتقال داده‌های دیجیتال به صورت مستقیم و بدون نیاز به تبدیل آنالوگ، کیفیت تصویر را به حداکثر رساند و از مشکلات مربوط به نویز و افت کیفیت جلوگیری کرد.

### ۳. نیاز به حفاظت از محتوای دیجیتال

با پیشرفت تکنولوژی، صنعت فیلم و سرگرمی نیاز به حفاظت از محتوای دیجیتال در برابر کپی غیرمجاز داشت. استانداردهای قدیمی مانند DVI و VGA فاقد مکانیسم‌های امنیتی بودند، و این امکان را برای افراد فراهم می‌کرد که محتوای دیجیتال را به راحتی کپی کنند.

HDMI با پشتیبانی از فناوری (HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection)، انتقال ایمن داده‌ها را تضمین کرد. این فناوری، از طریق احراز هویت و رمزگذاری سیگنال‌ها، از ضبط غیرمجاز فیلم‌ها و محتوای دیجیتال جلوگیری می‌کند.

#### ۴. آینده‌نگری و پشتیبانی از رزولوشن‌های بالاتر و فرمت‌های صوتی پیشرفته

در زمان معرفی HDMI، تلویزیون‌های HD (۷۲۰p و ۱۰۸۰p) تازه در حال گسترش بودند. با این حال، سازندگان HDMI می‌دانستند که در آینده، وضوح‌های بالاتر مانند ۴K و ۸K محبوب خواهند شد. به همین دلیل، این استاندارد به گونه‌ای طراحی شد که در نسخه‌های بعدی بتواند افزایش پهنای باند، رزولوشن‌های بالاتر، نرخ فریم سریع‌تر و فناوری‌های جدید صوتی را پشتیبانی کند.

HDMI به تدریج با انتشار نسخه‌های جدید پشتیبانی از HDR، ۳D، ویدئوهای ۴K و ۸K را اضافه کرد. همچنین پس از مدتی قابلیت‌های پیشرفته‌ای مانند نرخ نوسازی متغیر (VRR) برای گیمینگ، eARC برای صدای با کیفیت بالاتر، و نرخ فریم ۱۲۰Hz برای نمایشگرهای سریع‌تر را معرفی کرد.

#### ۵. بهینه‌سازی برای مصرف‌کننده و کاهش هزینه‌ها

قبل از HDMI، کاربران برای اتصال دستگاه‌های مختلف (مثلاً یک پخش‌کننده DVD به تلویزیون یا یک کنسول بازی به مانیتور) نیاز به دانستن سازگاری کابل‌ها و استانداردهای مختلف داشتند. این مشکل باعث پیچیدگی در نصب و راه‌اندازی، نیاز به تبدیل‌کننده‌های مختلف برای سازگاری بین دستگاه‌ها و هزینه‌های اضافی برای کاربران می‌شد.

HDMI این چالش را با ارائه یک استاندارد واحد که روی تمام دستگاه‌های مدرن قابل استفاده است، برطرف کرد. این امر باعث شد:

۱. کاربران بدون نیاز به دانستن جزئیات فنی، دستگاه‌های خود را به سادگی متصل کنند.

۲. هزینه‌های تولید و کابل‌کشی در صنعت کاهش پیدا کند.

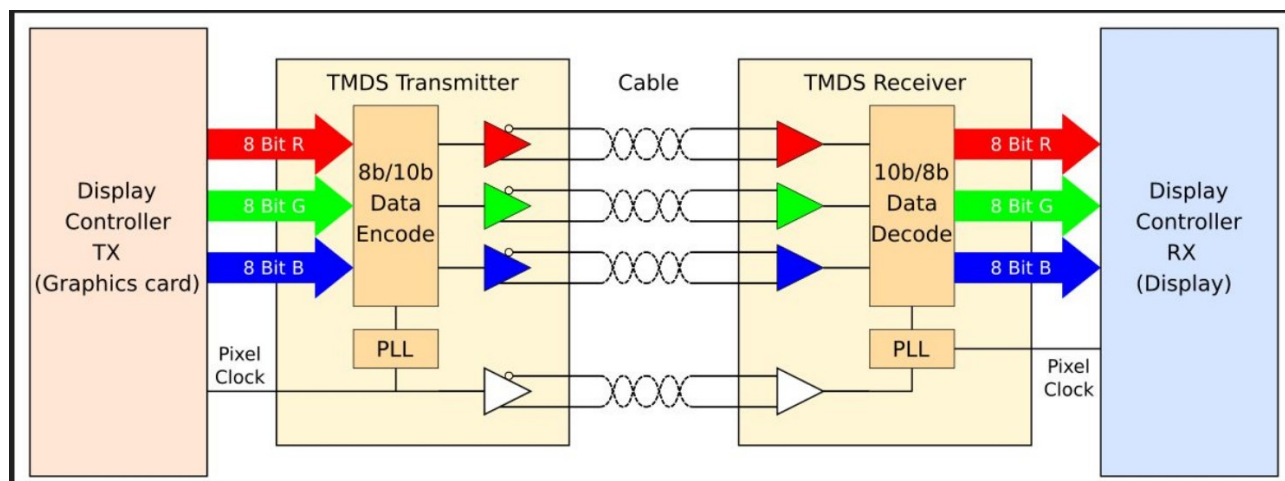
۳. استفاده از فناوری‌های جدید برای تولیدکنندگان سخت‌افزار آسان‌تر شود.

HDMI به لطف این ویژگی‌ها، به استاندارد جهانی اتصال چندرسانه‌ای تبدیل شده و امروزه در اکثر دستگاه‌های دیجیتال، از تلویزیون‌ها و مانیتورها گرفته تا کنسول‌های بازی و سیستم‌های سینمای خانگی به کار می‌رود.

#### ۴. روش کدگذاری داده‌ها: TMDS

استاندارد HDMI برای انتقال داده‌های صوتی و تصویری از فناوری TMDS استفاده می‌کند. نام این روش کدگذاری مخفف کلمه‌ی Transition-Minimized Differential Signaling می‌باشد که به معنای سینگالینگ تفاضلی با گذار کمتر می‌باشد. این روش کدگذاری به گونه‌ای طراحی شده که بتواند داده‌های دیجیتال را با حداقل نویز و حداکثر کیفیت منتقل کند. در روش‌های قدیمی‌تر مانند VGA که بر پایه سینگال‌های آنالوگ بودند، نویز الکترومغناطیسی می‌توانست باعث کاهش کیفیت تصویر شود. در مقابل، TMDS با استفاده از سینگال‌های تفاضلی و بهینه‌سازی تعداد تغییرات در سطح ولتاژ، انتقال داده‌ها را بدون کاهش کیفیت تضمین می‌کند.

در TMDS، داده‌های تصویری در **سه کانال** جداگانه ارسال می‌شوند که هر کانال مسئول انتقال یکی از سه رنگ اصلی (قرمز، سبز و آبی - RGB) است. علاوه بر این، یک کانال مجزا نیز برای سینگال ساعت (Clock Channel) اختصاص داده شده است. این کانال وظیفه همگام‌سازی داده‌های تصویری را بر عهده دارد تا نمایشگر بتواند ترتیب صحیح نمایش پیکسل‌ها را حفظ کند.



فرآیند کدگذاری داده‌ها در TMDS به گونه‌ای طراحی شده که تعداد تغییرات سطح سینگال در حین انتقال **حداقل باشد** تا نویز الکترومغناطیسی کاهش یابد. این فرآیند در دو مرحله انجام می‌شود که مرحله اول شامل استفاده از **عملگرهای منطقی XOR و XNOR** است.

در این مرحله، ابتدا اولین بیت داده بدون تغییر ارسال می‌شود. سپس، هر بیت بعدی نسبت به بیت قبلی با استفاده از عملگر XOR یا XNOR پردازش می‌شود. انتخاب بین این دو عملگر به شکلی انجام می‌شود که تعداد تغییرات ۰ و ۱ در توالی داده‌های کدگذاری شده کمینه شود.

اگر تعداد بیت‌های ۱ در داده خام بیشتر از تعداد بیت‌های ۰ باشد، سیستم از عملگر XNOR استفاده می‌کند که باعث کاهش تعداد تغییرات سطح ولتاژ می‌شود. در غیر این صورت، از عملگر XOR استفاده می‌شود. نتیجه این فرایند این است که تغییرات در سطح سینگال کاهش پیدا کرده و در نتیجه، مصرف توان کاهش می‌یابد و پایداری سینگال در کابل‌های بلند افزایش پیدا می‌کند.

پس از این مرحله، داده‌های پردازش شده وارد مرحله دوم می‌شوند که در آن انتقال به صورت **تفاضلی** انجام شده و هر سینگال به همراه معکوس خود ارسال می‌شود تا نمایشگر بتواند نویز احتمالی محیط را حذف کرده و داده اصلی را با دقت بالا بازیابی کند.

یکی از مزایای اصلی TMDS این است که با افزایش رزولوشن و نرخ فریم، همچنان می‌تواند کیفیت بالای تصویر را حفظ کند. این فناوری به گونه‌ای طراحی شده که در نسخه‌های جدید HDMI بتواند داده‌های با پهنای باند بالا، مانند ویدئوهای با کیفیت ۴K و ۸K را بدون کاهش کیفیت انتقال دهد. همچنین، TMDS به دلیل ساختار مقاوم در برابر نویز، برای کابل‌های HDMI با طول‌های مختلف عملکرد پایداری دارد.

## نحوه ارسال تصویر دوبعدی در TMDS با استفاده از HSYNC و VSYNC

در استاندارد HDMI، ارسال تصویر از طریق پروتکل TMDS به صورت خط به خط و پیکسل به پیکسل انجام می شود. این تصویر که یک داده دوبعدی است، به مجموعه ای از پیکسل های خطی (scanlines) شکسته شده و هر پیکسل از طریق سه کانال TMDS (قرمز، سبز، آبی) به نمایشگر ارسال می شود. برای همگام سازی این اطلاعات و حفظ ترتیب صحیح نمایش آنها، از سیگنال های همگام سازی افقی (HSYNC) و همگام سازی عمودی (VSYNC) استفاده می شود.

### نحوه عملکرد HSYNC:

بعد از ارسال هر خط از تصویر، نمایشگر باید به ابتدای خط بعدی برود. در این نقطه، سیگنال HSYNC فعال می شود که به نمایشگر اطلاع می دهد خط جاری به پایان رسیده و باید به خط بعدی منتقل شود. در این فاصله، یک بخش خالی (Horizontal Blanking) قرار می گیرد که در آن، داده های کنترلی و صدا ارسال می شوند.

### نحوه عملکرد VSYNC:

زمانی که همه خطوط یک فریم ارسال شدند، سیگنال VSYNC فعال می شود تا نمایشگر را برای شروع فریم جدید آماده کند. پس از فعال شدن این سیگنال، بخش خالی عمودی (Vertical Blanking) در نظر گرفته می شود که به نمایشگر زمان می دهد تا آماده دریافت فریم جدید شود. در این مدت، داده های صوتی و کنترلی از طریق بخش Data Island منتقل می شوند.

## نحوه ارسال همزمان صدا و تصویر از طریق یک کانال در HDMI

HDMI با استفاده از ساختار Data Island و مدیریت زمان بندی در سیگنال TMDS، امکان ارسال همزمان صدا و تصویر را فراهم می کند. در روش های سنتی، صدا و تصویر به صورت جداگانه از دو کابل مختلف منتقل می شدند، اما در HDMI، این دو نوع داده از طریق یک مجموعه سیم با زمان بندی مناسب ارسال می شوند.

برای این کار، HDMI به سه نوع دوره زمانی (Periods) در TMDS تقسیم می شود: ۱. Control Period: در این بخش، اطلاعات مربوط به همگام سازی و فرمان های کنترلی ارسال می شوند.

۲. Data Island Period: در این بخش، داده های صوتی و متادیتا (اطلاعات جانبی مانند اطلاعات رنگ، زیرنویس و HDCP) منتقل می شوند. این بازه دقیقاً در زمان بخش های خالی افقی و عمودی (Horizontal و Vertical Blanking) اتفاق می افتد.

۳. Video Data Period: در این قسمت، داده های ویدیویی پیکسل به پیکسل ارسال می شوند که تصویر را تشکیل می دهند.



### چگونه صدا و تصویر هماهنگ می‌شوند؟

از آنجایی که داده‌های صوتی به جای ارسال مداوم، در فواصل Data Island Period قرار می‌گیرند، HDMI از یک بافر (Audio Clock Recovery) استفاده می‌کند تا داده‌های صوتی را جمع‌آوری و مرتب کند. این کار باعث می‌شود که صدا با فریم‌های تصویر هماهنگ شده و هیچ گونه ناهماهنگی (مانند تأخیر در صدا یا تصویر) رخ ندهد.

به طور کلی، TMDs یکی از کلیدی‌ترین فناوری‌های به کار رفته در HDMI است که امکان انتقال تصویر و صدا را با کیفیت بالا و بدون افت سیگنال فراهم می‌کند. این فناوری در کنار سایر قابلیت‌های HDMI مانند مدیریت پهنای باند و انتقال داده‌های چندرسانه‌ای، نقش مهمی در تبدیل HDMI به استاندارد جهانی برای اتصال تجهیزات صوتی و تصویری ایفا کرده است.

## «حفاظت از محتوای دیجیتال: HDCP»

استاندارد HDMI نه تنها برای انتقال باکیفیت تصویر و صدا طراحی شده است، بلکه یک مکانیزم امنیتی برای جلوگیری از کپی برداری غیرمجاز از محتوای دیجیتال را نیز شامل می‌شود. این مکانیزم با نام HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection) شناخته می‌شود و توسط شرکت Intel توسعه داده شده است. هدف اصلی HDCP جلوگیری از ضبط و پخش غیرمجاز محتوای دارای کپی‌رایت در هنگام انتقال داده‌های دیجیتال از طریق HDMI است.

### مکانیزم عملکرد HDCP

HDCP برای جلوگیری از کپی برداری، از فرایند احراز هویت، رمزگذاری داده‌ها و به‌روزرسانی مداوم کلیدهای امنیتی استفاده می‌کند. این فرایند در سه مرحله انجام می‌شود:

#### ۱. احراز هویت اولیه (Handshake):

هنگامی که یک دستگاه منبع مانند یک پخش کننده بلوری، کنسول بازی یا کامپیوتر از طریق کابل HDMI به یک نمایشگر یا پروژکتور متصل می‌شود، ابتدا یک فرایند احراز هویت انجام می‌گیرد. در این مرحله، دستگاه منبع از نمایشگر می‌خواهد که کلید HDCP معتبر خود را ارسال کند. اگر نمایشگر دارای مجوز معتبر باشد، ارتباط برقرار شده و انتقال داده‌ها آغاز می‌شود. در غیر این صورت، تصویر نمایش داده نخواهد شد یا کیفیت آن به وضوح بسیار پایین (مانند 480p) کاهش خواهد یافت.

#### ۲. رمزگذاری داده‌ها:

پس از تأیید نمایشگر، دستگاه منبع شروع به رمزگذاری تمام داده‌های ویدیویی و صوتی می‌کند. این رمزگذاری بر اساس یک کلید محرمانه و منحصر به فرد انجام می‌شود که فقط بین دستگاه‌های دارای مجوز HDCP معتبر قابل خواندن است. این رمزگذاری باعث می‌شود که حتی اگر فردی موفق به استخراج سیگنال HDMI شود، نتواند آن را بدون کلید اصلی رمزگشایی کند.

#### ۳. به‌روزرسانی و تبادل مداوم کلیدها:

برای جلوگیری از نفوذ و هک شدن، HDCP به طور مداوم در طول انتقال داده‌ها کلیدهای رمزگذاری را تغییر می‌دهد. این فرایند باعث می‌شود که کپی برداری آنی از داده‌های رمزگذاری شده عملاً غیرممکن شود.

### چرا HDCP ضروری است؟

با افزایش کیفیت و محبوبیت رسانه‌های دیجیتال، بسیاری از تولیدکنندگان فیلم، برنامه‌های تلویزیونی و بازی‌های ویدیویی نگران کپی غیرمجاز و توزیع غیرقانونی محتوا بودند. HDCP تضمین می‌کند که تنها نمایشگرهای تأیید شده قادر به دریافت و پخش محتوای دیجیتال هستند. بسیاری از پلتفرم‌های پخش آنلاین مانند Netflix، Amazon Prime Video و Disney+ از HDCP استفاده می‌کنند تا مطمئن شوند که محتوای آنها از طریق دستگاه‌های غیرمجاز ضبط نمی‌شود.



## نسخه‌های مختلف HDCP و تفاوت‌های آن‌ها

HDCP در طول زمان پیشرفت کرده و نسخه‌های جدید آن برای افزایش امنیت منتشر شده‌اند. هر نسخه جدید سطح بالاتری از رمزگذاری و محافظت را ارائه می‌دهد.

۱.۴.۱: HDCP

• اولین نسخه گسترده که از کیفیت‌های ۱۰۸۰p و بلوری پشتیبانی می‌کرد.

• در برابر برخی حملات امنیتی آسیب‌پذیر بود و هکرها موفق شدند راه‌هایی برای دور زدن آن پیدا کنند.

۲.۲.۲: HDCP

• برای محافظت از محتوای ۴K و UHD معرفی شد.

• از الگوریتم‌های رمزگذاری قوی‌تری استفاده می‌کند که در نسخه‌های قبلی وجود نداشتند.

۲.۳.۳: HDCP

• برای جلوگیری از حملات جدید و افزایش امنیت در محتوای ۸K و HDR توسعه داده شد.

• فقط دستگاه‌هایی که از این نسخه پشتیبانی می‌کنند می‌توانند به درستی محتوای دارای این سطح امنیتی را پخش کنند.

## محدودیت‌های HDCP و روش‌های دور زدن آن

اگرچه HDCP یک مکانیزم امنیتی قوی برای حفاظت از محتوای دیجیتال است، اما دارای محدودیت‌ها و چالش‌هایی نیز هست. یکی از مشکلات HDCP این است که اگر یکی از دستگاه‌های موجود در زنجیره اتصال (مثلاً یک نمایشگر یا کابل تبدیل) از نسخه قدیمی HDCP پشتیبانی کند، کل ارتباط کاهش کیفیت پیدا می‌کند یا حتی کار نخواهد کرد. به همین دلیل، گاهی کاربران هنگام استفاده از مبدل‌های HDMI به DVI یا هنگام ضبط ویدئو با کارت‌های کپچر، با خطای HDCP مواجه می‌شوند.

علاوه بر این، برخی از افراد موفق به دور زدن HDCP از طریق ابزارهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری خاص شده‌اند. برخی از اسپلیترهای HDMI و دستگاه‌های کپچر خاص می‌توانند سیگنال را به نحوی پردازش کنند که HDCP در خروجی غیرفعال شود. البته این روش‌ها از نظر قانونی مجاز نیستند و به همین دلیل شرکت‌های تولیدکننده سخت‌افزار و نرم‌افزار سعی می‌کنند با به‌روزرسانی‌های امنیتی از این کار جلوگیری کنند.

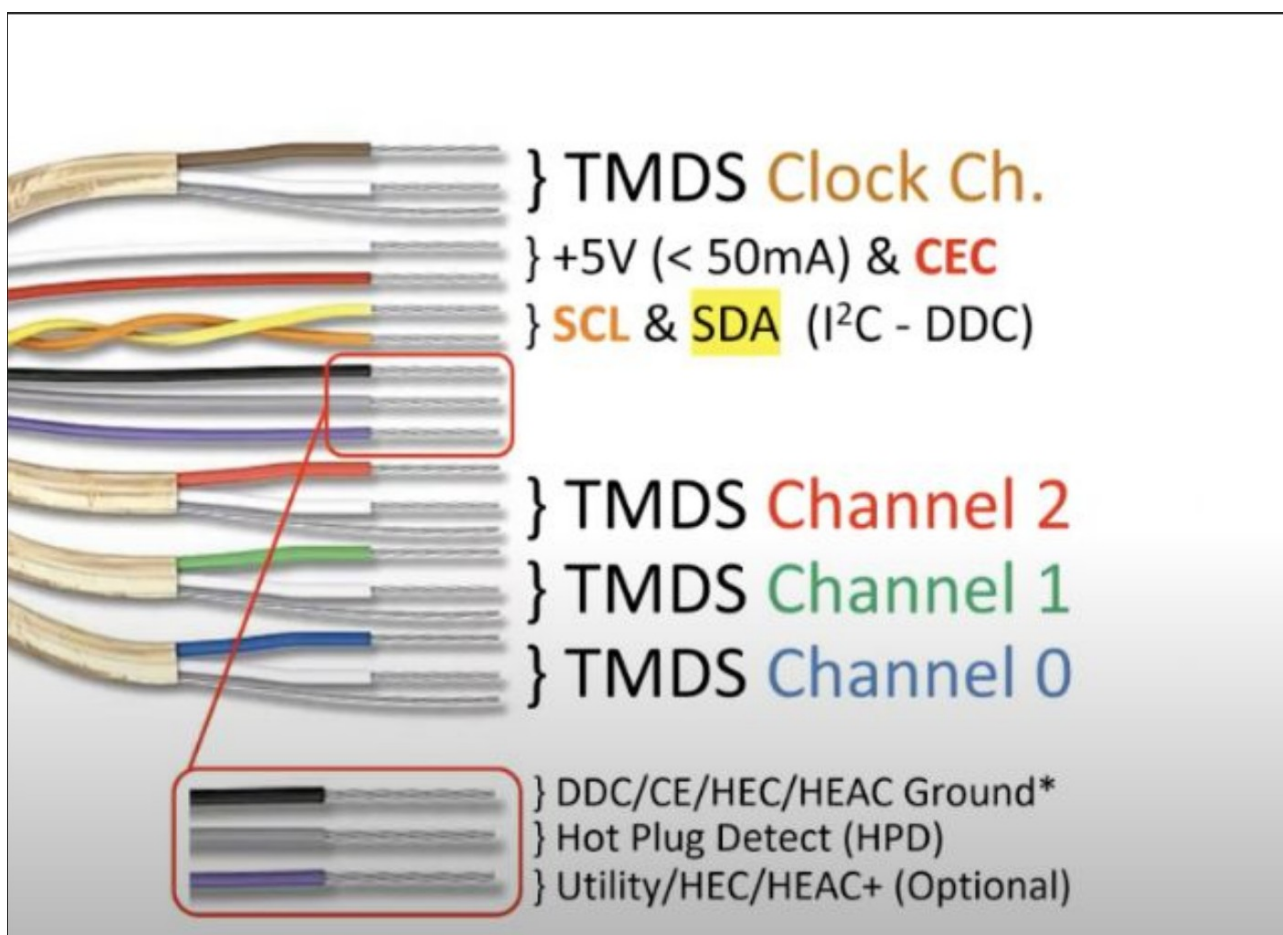
## «ساختار کابل و پین‌های HDMI»

کابل HDMI یکی از مهم‌ترین اجزای این استاندارد است که وظیفه انتقال داده‌های دیجیتال شامل تصویر، صدا و اطلاعات کنترلی را بر عهده دارد. برخلاف کابل‌های قدیمی مانند VGA و DVI که تنها تصویر را منتقل می‌کردند، HDMI قادر است تصویر، صدا، داده‌های شبکه و اطلاعات کنترلی را به صورت هم‌زمان و بدون نیاز به کابل‌های اضافی انتقال دهد. ساختار کابل HDMI به گونه‌ای طراحی شده که بتواند حجم بالای داده‌ها را با سرعت زیاد و بدون افت کیفیت جابه‌جا کند.

### ۱. ساختار فیزیکی کابل HDMI

کابل HDMI از چندین سیم داخلی تشکیل شده است که به صورت زوج‌های به هم تابیده برای کاهش نویز و تداخل الکترومغناطیسی طراحی شده‌اند. این کابل‌ها به گونه‌ای ساخته شده‌اند که بتوانند سیگنال‌های دیجیتال با نرخ بالا را بدون افت کیفیت منتقل کنند. طول کابل HDMI بر کیفیت سیگنال تأثیر دارد و در کابل‌های بلند، از فناوری‌هایی مانند فیبر نوری یا تقویت‌کننده‌های سیگنال استفاده می‌شود تا از کاهش کیفیت تصویر و صدا جلوگیری شود.

هر کابل HDMI شامل ۱۹ پین مجزا است که هر کدام وظیفه خاصی در انتقال داده‌ها دارند. این پین‌ها شامل کانال‌های انتقال داده‌های تصویری و صوتی، سیگنال‌های همگام‌سازی، خطوط تغذیه و ارتباطات کنترلی هستند.



## ۲. پین‌های اصلی و عملکرد آن‌ها در HDMI

در این کابل، ۱۹ پین وجود دارد که به دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند:

۱. کانال‌های انتقال داده (TMDS Data Channels):

• این سه کانال مسئول انتقال داده‌های تصویری هستند.

• هر کانال شامل دو سیم تفاضلی است که داده‌ها را به همراه معکوس آن‌ها ارسال می‌کنند تا از تداخل نویز جلوگیری شود.

• هر یک از این کانال‌ها یکی از سه رنگ قرمز، سبز و آبی (RGB) را منتقل می‌کنند.

۲. کانال ساعت (TMDS Clock Channel):

• این کانال وظیفه همگام‌سازی داده‌های تصویری را بر عهده دارد.

• باعث می‌شود که نمایشگر بتواند پیکسل‌ها را با ترتیب صحیح پردازش کند.

۳. کانال‌های ارتباطی و کنترلی:

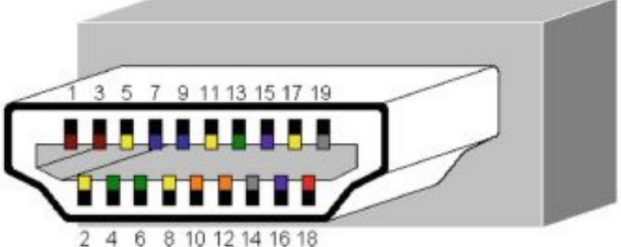
• SDA و SCL (پین‌های ۱۵ و ۱۶): برای ارتباط  $I^2C$  و ارسال اطلاعات DDC، که شامل خواندن اطلاعات EDID از نمایشگر است.

• CEC (پین ۱۳): برای ارتباط بین دستگاه‌های HDMI که به کاربر اجازه می‌دهد چندین دستگاه را با یک ریموت کنترل کند.

۴. کانال‌های تغذیه و زمین:

• پین‌های مربوط به GND (زمین) که از ایجاد نویز جلوگیری می‌کنند.

• پین ۱۸ (+5V Power): که برای تأمین برق موردنیاز برخی دستگاه‌ها استفاده می‌شود.



1 TMDS Data2+	3 TMDS Data2-	5 TMDS Data1 Shield	7 TMDS Data0+	9 TMDS Data0-	11 TMDS Clock Shield	13 CEC	15 SCL	17 DDC / CEC / HEC Ground	19 Hot Plug Detect
	2 TMDS Data2 Shield	4 TMDS Data1+	6 TMDS Data1-	8 TMDS Data0 Shield	10 TMDS Clock+	12 TMDS Clock-	14 reserved	16 SDA	18 +5V power, 50 mA max

### ۳. انواع کابل های HDMI و تفاوت آن ها

کابل های HDMI در نسخه های مختلفی تولید شده اند که هر کدام قابلیت های متفاوتی دارند. این نسخه ها شامل:

• **Standard HDMI Cable:** پشتیبانی از رزولوشن های ۷۲۰p و ۱۰۸۰i، مناسب برای مصارف عادی.

• **High-Speed HDMI Cable:** پشتیبانی از ۱۰۸۰p و ۴K با نرخ ۳۰ هرتز، مناسب برای دستگاه های پیشرفته تر.

• **Premium High-Speed HDMI Cable:** دارای پهنای باند بالاتر و پشتیبانی از ۴K HDR و ۶۰Hz.

• **Ultra High-Speed HDMI Cable:** مخصوص نسخه ۲.۱ HDMI، با قابلیت انتقال ۸K و ۱۰K و نرخ تازه سازی ۱۲۰ و ۱۴۴ هرتز.

علاوه بر این، کابل های HDMI در انواع استاندارد، مینی (Mini HDMI) و میکرو (Micro HDMI) ساخته می شوند که برای دستگاه های مختلف مانند دوربین های دیجیتال، تبلت ها و لپ تاپ ها استفاده می شوند.

### ۴. نحوه انتخاب کابل HDMI مناسب

انتخاب کابل HDMI باید بر اساس رزولوشن تصویر، نرخ تازه سازی، و طول کابل انجام شود. برای کاربرانی که از ۴K با نرخ ۶۰ هرتز یا بالاتر استفاده می کنند، کابل های Premium یا Ultra High-Speed HDMI توصیه می شود. همچنین، برای کابل های بلندتر از ۵ متر، استفاده از کابل های فیبر نوری HDMI برای جلوگیری از افت سیگنال پیشنهاد می شود.



## «انواع پورت‌های HDMI»

درگاه‌های HDMI بسته به نوع دستگاه، اندازه فیزیکی و کاربرد آن در نسخه‌های مختلفی طراحی شده‌اند. هدف از ارائه انواع مختلف پورت‌های HDMI، سازگاری با دستگاه‌های متنوعی مانند تلویزیون‌ها، مانیتورها، لپ‌تاپ‌ها، دوربین‌های دیجیتال و کنسول‌های بازی بوده است. این پورت‌ها از لحاظ عملکرد هیچ تفاوتی ندارند و همگی قادر به انتقال تصویر، صدا و داده‌های کنترلی هستند، اما از نظر ابعاد و تعداد پین‌ها متفاوت‌اند.

### ۱. HDMI استاندارد (Type A)

این نوع پورت، رایج‌ترین نوع HDMI است که در اکثر تلویزیون‌ها، مانیتورها، کنسول‌های بازی، رایانه‌های شخصی و گیرنده‌های دیجیتال یافت می‌شود.

• دارای ۱۹ پین است و با تمامی نسخه‌های HDMI (از ۱.۰ تا ۲.۱) سازگار است.

• ابعاد استاندارد این پورت ۱۴ میلی‌متر عرض و ۴.۵ میلی‌متر ارتفاع دارد.

• معمولاً برای اتصال نمایشگرها و سیستم‌های سینمای خانگی استفاده می‌شود.

### ۲. Mini HDMI (Type C)

پورت مینی HDMI برای دستگاه‌های کوچکتر مانند لپ‌تاپ‌های باریک، تبلت‌ها، دوربین‌های دیجیتال و برخی کنسول‌های گیمینگ قابل حمل طراحی شده است.

• دارای ۱۹ پین مشابه HDMI استاندارد است، اما ابعاد آن حدود ۱۰.۴ میلی‌متر عرض و ۲.۴ میلی‌متر ارتفاع دارد.

• از طریق یک مبدل Mini HDMI به HDMI استاندارد می‌توان آن را به دستگاه‌های معمولی متصل کرد.

• قابلیت پشتیبانی از تصاویر ۴K، Full HD و صداهای چندکاناله را دارد.

### ۳. Micro HDMI (Type D)

پورت میکرو HDMI حتی کوچک‌تر از Mini HDMI است و معمولاً در دوربین‌های حرفه‌ای، تبلت‌ها، گوشی‌های هوشمند و دستگاه‌های فوق‌العاده باریک استفاده می‌شود.

• با ابعادی حدود ۶.۴ میلی‌متر عرض و ۲.۸ میلی‌متر ارتفاع، بسیار کوچک‌تر از نسخه‌های قبلی است.

• دارای ۱۹ پین مشابه سایر نسخه‌ها است و از طریق مبدل Micro HDMI به HDMI استاندارد قابل استفاده است.

• قابلیت انتقال ویدئوهای با کیفیت بالا (۴K و Full HD) و صدای چندکاناله را دارد.

### ۴. HDMI Type B (Dual-Link HDMI)

این نوع پورت دارای ۲۹ پین است و برای انتقال داده‌های تصویری با پهنای باند بالا طراحی شده بود.

• در نسخه اولیه HDMI برای انتقال وضوح تصویری بیشتر از ۱۰۸۰p پیشنهاد شد.

• به دلیل پیشرفت فناوری و معرفی نسخه‌های ۲.۰ HDMI و ۲.۱، این نوع پورت هرگز به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفت.

• امروزه به جای آن، HDMI استاندارد با پهنای باند بالاتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

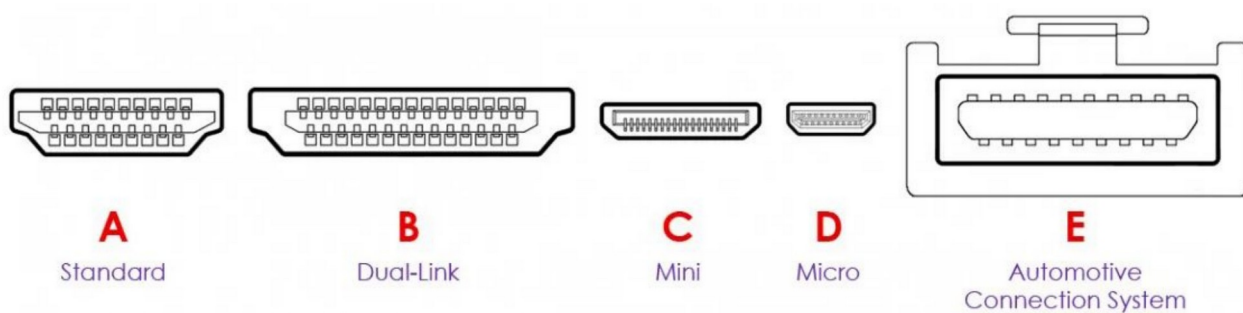
## ۵. HDMI Type E (Automotive HDMI)

این نوع پورت مخصوص سیستم‌های چندرسانه‌ای خودروها طراحی شده است.

• دارای قفل ایمنی برای جلوگیری از جدا شدن کابل در اثر لرزش خودرو است.

• از نظر فنی، عملکردی مشابه HDMI استاندارد دارد، اما از نظر اتصالات مقاوم‌تر طراحی شده است.

• در خودروهای مدرن برای اتصال نمایشگرهای داخلی، سیستم‌های سرگرمی و دوربین‌های خودرو استفاده می‌شود.



## «نسخه‌های مختلف HDMI و ویژگی‌های آن‌ها»

از زمان معرفی اولیه در سال ۲۰۰۲، HDMI به طور مداوم به‌روزرسانی شده و نسخه‌های جدید آن قابلیت‌های بیشتری را برای انتقال ویدئو، صدا و داده‌های کنترلی ارائه کرده‌اند. هر نسخه جدید پهنای باند بالاتری را فراهم کرده و از رزولوشن‌های بالاتر، نرخ فریم بیشتر و فرمت‌های صوتی پیشرفته‌تر پشتیبانی کرده است.

### ۱. ۱.۰ HDMI (سال ۲۰۰۳) - معرفی اولیه

- این نسخه، اولین استاندارد رسمی HDMI بود که تصویر و صدا را از طریق یک کابل دیجیتال منتقل می‌کرد.
- پشتیبانی از رزولوشن ۱۰۸۰P با نرخ ۶۰ هرتز
- قابلیت انتقال صدای چند کاناله ۸ کاناله با کیفیت ۱۹۲ کیلوهرتز
- حداکثر پهنای باند ۴.۹۵ گیگابیت بر ثانیه

### ۲. ۱.۳ HDMI (سال ۲۰۰۶) - بهبود رنگ و صدا

- در این نسخه، پهنای باند افزایش یافت و امکان پشتیبانی از رنگ‌های عمیق‌تر و صدای با کیفیت بالاتر فراهم شد.
- افزایش پهنای باند به ۱۰.۲ گیگابیت بر ثانیه
- پشتیبانی از Deep Color (رنگ ۳۰، ۳۶ و ۴۸ بیتی) برای نمایش رنگ‌های واقعی‌تر
- اضافه شدن فرمت‌های صوتی Dolby TrueHD و DTS-HD Master Audio
- کاهش تأخیر در پردازش تصویر برای کاربردهای بازی‌های ویدیویی

### ۳. ۱.۴ HDMI (سال ۲۰۰۹) - ورود به دنیای ۴K و اینترنت

- در این نسخه، قابلیت‌های جدیدی برای ویدئوهای با وضوح بالا و ارتباط شبکه‌ای اضافه شد.
- پشتیبانی از ویدئوهای ۴K (۳۰ هرتز)
- معرفی کانال ارتباط شبکه‌ای (HDMI Ethernet Channel - HEC) که امکان اشتراک گذاری اینترنت بین دستگاه‌های متصل به HDMI را فراهم می‌کند
- اضافه شدن کانال صوتی برگشتی (ARC) برای ارسال صدا از تلویزیون به سیستم صوتی بدون نیاز به کابل اضافی
- پشتیبانی از محتوای ۳D (سه بعدی)

### ۴. ۲.۰ HDMI (سال ۲۰۱۳) - ورود به ۴K واقعی

- این نسخه برای پشتیبانی از ویدئوهای ۴K با نرخ ۶۰ هرتز و عمق رنگ بیشتر معرفی شد.
- افزایش پهنای باند به ۱۸ گیگابیت بر ثانیه
- پشتیبانی از ۴K با نرخ ۶۰ هرتز و رنگ‌های ۱۰ بیتی HDR
- پشتیبانی از صدای چند کاناله ۳۲ کاناله

- بهبود فناوری CEC (کنترل دستگاه‌ها با یک ریموت)

## ۵. ۲.۱ HDMI (سال ۲۰۱۲) - پشتیبانی از ۸K و نرخ فریم بالا

- جدیدترین نسخه HDMI که با پشتیبانی از وضوح‌های بسیار بالا و نرخ نوسازی متغیر، عملکرد بهتری برای نمایشگرهای مدرن و بازی‌های ویدیویی ارائه می‌دهد.
- افزایش پهنای باند به ۴۸ گیگابیت بر ثانیه
- پشتیبانی از ۸K با نرخ ۶۰ هرتز و ۴K با نرخ ۱۲۰ هرتز
- معرفی فناوری VRR (نرخ نوسازی متغیر) برای گیمینگ روان‌تر
- معرفی eARC (کانال صوتی برگشتی پیشرفته) که از فرمت‌های صوتی با کیفیت بالا مانند Dolby Atmos و DTS:X پشتیبانی می‌کند
- بهینه‌سازی فناوری Dynamic HDR برای نمایش بهتر رنگ‌ها و کنتراست در صحنه‌های متحرک

## ۶. مقایسه نسخه‌های مختلف HDMI

ویژگی‌های کلیدی	نرخ فریم	حداکثر رزولوشن	پهنای باند	نسخه
صدای ۸ کاناله دیجیتال	۶۰ هرتز	۱۰۸۰p	۴.۹۵ گیگابیت بر ثانیه	HDMI ۱.۰
رنگ ۳۰ و ۳۶ بیتی، فرمت‌های صوتی پیشرفته	۶۰ هرتز	۱۰۸۰p	۱۰.۲ گیگابیت بر ثانیه	HDMI ۱.۳
پشتیبانی از ARC، ۳D و HEC	۳۰ هرتز	۴K	۱۰.۲ گیگابیت بر ثانیه	HDMI ۱.۴
صدای ۳۲ کاناله، HDR	۶۰ هرتز	۴K	۱۸ گیگابیت بر ثانیه	HDMI ۲.۰
VRR، eARC، Dynamic HDR	۶۰ هرتز (۴K) تا ۱۲۰ هرتز	۸K	۴۸ گیگابیت بر ثانیه	HDMI ۲.۱



## «نتیجه گیری»

از زمان معرفی HDMI در سال ۲۰۰۲، این استاندارد به عنوان پایه‌ای‌ترین روش اتصال دستگاه‌های چندرسانه‌ای شناخته شده است. این فناوری توانسته است تصویر و صدا را به صورت دیجیتال، بدون فشرده‌سازی و با کیفیت بالا از یک دستگاه به دیگر منتقل کند. جایگزینی HDMI به جای فناوری‌های قدیمی مانند DVI، VGA و AV باعث شد که اتصال دستگاه‌ها ساده‌تر، کیفیت تصویر و صدا بالاتر و نیاز به کابل‌های متعدد از بین برود.

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های HDMI، پشتیبانی از انتقال هم‌زمان تصویر و صدا از طریق یک کابل واحد است که به کاربران این امکان را می‌دهد تا بدون پیچیدگی اضافی، سیستم‌های صوتی و تصویری خود را به نمایشگرها، تلویزیون‌ها، کنسول‌های بازی و رایانه‌ها متصل کنند. همچنین، در نسخه‌های جدید HDMI، قابلیت‌هایی مانند پشتیبانی از رزولوشن‌های بالا (۴K و ۸K)، فناوری‌های صوتی پیشرفته (Dolby DTS:X و Atmos)، نرخ فریم بالا و پشتیبانی از HDR اضافه شده‌اند که تجربه تماشای ویدئو و انجام بازی‌های ویدیویی را به سطح جدیدی رسانده‌اند.

علاوه بر این، استاندارد HDMI از نظر امنیت محتوای دیجیتال نیز اقدامات مهمی انجام داده است. فناوری HDCP (High-bandwidth Digital Content Protection) در HDMI از کپی و پخش غیرمجاز محتوای دیجیتال جلوگیری کرده و امنیت انتقال داده‌های رسانه‌ای را تضمین می‌کند. این ویژگی به ویژه برای تولیدکنندگان محتوای ویدیویی، پخش‌کنندگان تلویزیونی و پلتفرم‌های استریمینگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

روش کدگذاری TMDS در HDMI نیز باعث شده است که انتقال داده‌ها با حداقل نویز الکترومغناطیسی و حداکثر دقت و سرعت انجام شود. این روش از طریق دو مرحله XOR/XNOR و انتقال تفاضلی، کیفیت بالای سیگنال را در کابل‌های HDMI تضمین می‌کند. همچنین، وجود سیگنال‌های همگام‌سازی HSYNC و VSYNC باعث شده که نمایش تصویر بر روی نمایشگر بدون پرش یا اعوجاج انجام شود.

در کنار پیشرفت‌های فنی، استاندارد HDMI در طول سال‌ها دچار تحولات گسترده‌ای شده است. از نسخه ۱.۰ HDMI که تنها از کیفیت ۱۰۸۰p پشتیبانی می‌کرد، تا ۲.۱ HDMI که قادر به انتقال ۸K با نرخ ۶۰ هرتز و ۴K با نرخ ۱۲۰ هرتز است، این استاندارد همواره در حال تکامل بوده است. همچنین، ویژگی‌هایی مانند CEC، HEC، eARC و VRR نشان داده‌اند که HDMI نه تنها در زمینه انتقال تصویر، بلکه در حوزه ارتباطات دستگاه‌ها و بهینه‌سازی تجربه کاربری نیز به پیشرفت‌های بزرگی دست یافته است.

در نهایت، HDMI امروزه استاندارد جهانی برای انتقال صدا و تصویر دیجیتال است و تقریباً تمامی دستگاه‌های مدرن چندرسانه‌ای از آن پشتیبانی می‌کنند. آینده این فناوری احتمالاً شامل پهنای باند بالاتر، پشتیبانی از وضوح‌های فراتر از ۸K، نرخ فریم‌های بالاتر و بهینه‌سازی انتقال داده‌ها برای کاربردهای واقعیت مجازی و افزوده خواهد بود.