دستورکار آزمایشگاه الکترونیک دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت

دکتر فاطمه دباغ کاشانی
دانشگاه علم و صنعت ایران

فهرست

عنوان	شماره صفحه
۱- راهنمای نگارش گزارش کار آزمایشگاه	۳
مقدمه	۳
۱-۱- ضرورت نگارش گزارش	۳
۱-۲- مزایای قالب‌بندی استاندارد	۳
۱-۳- استفاده از پردازش کامپیوتری بر پایه نرم‌افزار ورد	۴
۱-۴- زمان موردنیاز برای نگارش گزارش‌کار	۴
۱-۵- ساختار گزارشات فیزیک	۵
۱-۶- چک لیست گزارش آزمایشگاه‌ها	۱۰
۲- راهنمای دانشجویان برای تحلیل داده‌ها	۱۱
۲-۱- دقت، صحت و خطای آزمایش	۱۱
۲-۲- خطای آزمایش	۱۱
۲-۲-۱- خطاهای سیستماتیک	۱۱
۲-۲-۲- خطاهای تصادفی	۱۲
۲-۳- رقم‌های معنی‌دار	۱۲
۲-۳-۱- عدم قطعیت	۱۳
۲-۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها	۱۴
۲-۵- میانگین، انحراف از معیار، خطای استاندارد	۱۷
۲-۶- بازه‌های اطمینان	۱۹
۲-۷- پخش خطا	۲۰
۲-۸- نتایج مقایسه: درصد تفاوت و درصد خطا	۲۱
۲-۹- گراف‌ها	۲۲
۲-۱۰- متغیرهای وابسته و مستقل	۲۲

۲-۱۱- داده‌های ترسیمی به‌صورت یک خط مستقیم	۲۲
۲-۱۲- خطی نمودن داده‌ها	۲۳
۲-۱۳- برازش منحنی	۲۴
۲-۱۴- راهنمای رسم گراف به‌کمک نرم‌افزار اکسل	۲۶
۳- توصیفی کوتاه در مورد ابزارهای و قطعات مورد استفاده در آزمایشگاه الکترونیک	۳۲
۳-۱- آشنایی با انواع قطعات الکترونیکی	۳۳
۳-۱-۱- مقاومت	۳۳
۳-۱-۲- خازن	۳۸
۳-۱-۳- سلف	۴۰
۳-۱-۴- دیود	۴۳
۳-۱-۵- ترانزیستور	۴۹
۳-۲- آشنایی با میز آزمایشگاه الکترونیک	۶۱
۳-۳- منابع تغذیه الکترونیکی	۶۳
۳-۳-۱- اصول عملکرد منابع تغذیه آزمایشگاهی	۶۳
۳-۳-۱- الف- منبع تغذیه *DC*	۶۳
۳-۳-۱- ب- منبع تغذیه *AC*	۶۴
۳-۳-۱-ج- فانکشن ژنراتور	۶۵
۳-۴- ابزارهای اندازه‌گیری	۶۷
۳-۴-۱- مولتی‌متر دیجیتال	۶۷
۳-۴-۲- اسیلوسکوپ	۶۹

دانشگاه علم و صنعت ایران

راهنمای نگارش گزارش‌کار آزمایشگاه

مقدمه:

این راهنما به گونه‌ای طراحی شده‌است که به دانشجویان کمک کند تا گزارشی کامل از عملکرد خود در آزمایشگاه ارائه دهند. در بخش نخست ساختار یک گزارش خوب آزمایشگاه توضیح داده می‌شود، بخش‌های مختلف گزارش به صورت اجمالی ارائه شده و نیازهای هرکدام از آن‌ها توضیح داده می‌شود. همچنین، برخی از قواعد و قوانین استاندارد نگارش گزارش‌ها با کیفیتی حرفه‌ای معرفی می‌شود

گزارش‌های آزمایشگاهی هم از نظر محتوی تکنیکی و هم از نظر سبک نگارش طبقه‌بندی می‌شود. کیفیت سبک نگارش به شدن بر روی نمره این درس تأثیر گذاشته، بنابراین جهت کسب توانمندی ارائه گزارش-هایی با کیفیت بالا در فعالیت‌های تحقیقاتی- صنعتی آتی خود و همچنین کسب نمره قابل قبول پیروی از قواعد این راهنما و رعایت قالب‌بندی ویژه ضروری است.

۱- ۱- ضرورت نگارش گزارش

طبق بررسی‌های جهانی، مهندسان و دیگر متخصصان در علوم حداقل ۵۰ درصد زمان خود را صرف نوشتن گزارش‌ها و یادداشت‌های خود می‌کنند. کیفیت گزارشات شفاهی و کتبی متخصصان یکی از ملاک‌های ارزشیابی است. که توسط افراد مافوق جهت ارزیابی به‌کار می‌رود، بنابراین بهبود کیفیت و توانمندی نگارش گزارشی خوب، گزارشی با کیفیت حرفه‌ای ضروری و مهارتی قابل عرضه در بازار است. به همین دلیل، تعلیم و تمرین در نگارش گزارش از بخش‌های مهم تحصیل شما است.

۱-۲- مزایای قالب‌بندی استاندارد

متخصصان علمی و مهندسان چندین نوع گزارش آزمایشگاهی می‌نویسند. شکل، طول، محتوی و نقطه اتکا توسط هدف گزارش و مستمعین مشخص می‌شود. ولی، ساختار همه گزارشات یکسان بوده و شامل بخش-هایی است که اهداف، روش‌ها و طرز عمل، نتایج و جمع‌بندی را در بر می‌گیرد. این قالب‌بندی است که مدتها است در عمل به‌کار برده می‌شود، و در حالی‌که قالب‌بندی کامل منفردی وجود ندارد، رهیافت‌های بسیاری وجود دارند که منظرهای بسیاری شبیه یکدیگر است. **با استفاده از قالب‌بندی استاندارد**، شما می‌توانید تضمین کنید که گزارش نهایی کامل بوده و خواننده که علاقه‌مندی‌ها و نیازهای مختلف دارند، با کمینه تلاش می‌تواند به اطلاعاتی که در این گزارش به دنبال آن می‌گردند، دست یابد. استفاده از قالب‌بندی استاندارد سبب کاهش زمانی می‌شود که برای نگارش گزارش مورد نیاز است.

۱-۳- استفاده از پردازش کامپیوتری بر پایه نرم‌افزار ورد[1]

تمام گزارشات باید با استفاده از پردازش کامپیوتری بر پایه نرم‌افزار ورد آماده شود. امروزه این یک تمرین استاندارد در اکثر تشکیلات و سازمان‌ها است.

۱-۴- زمان مورد نیاز برای نگارش گزارش‌کار

اغلب دانشجویان در مورد دروس آزمایشگاهی به دلیل آن‌که مقدار زمان فراوانی برای آماده‌سازی گزارشات آزمایشگاهی مورد نیاز است، شکایت می‌کنند و این به سرمایه‌گذاری زمانی بازمی‌گردد که متناسب نیست. ولی، در حقیقت، دانشجویانی که می‌توانند گزارش فعالیت‌های آزمایشگاهی خود را واضح بنویسند و گزارشات سازمان‌یافته‌ای ارائه دهند، نمراتی بالاتر از آن‌چه افرادی که این توانمندی را ندارند، دریافت می‌کنند. در حالی‌که نگارش گزارش می‌تواند زمان زیادی را به خود اختصاص دهد، زمان به خوبی صرف می‌شود زیرا برای دانشجویان فرصتی را فراهم می‌کند که توانمندی و مهارت خود را که در مشاغل آینده‌شان بسیار ارزشمند است، بهبود دهند. تعدادی از استراتژی‌ها برای کاهش زمان سپری شده برای نگارش گزارشات وجود دارد. تعدادی از مسائل مرتبط با نگارش پایان‌نامه یا برنامه‌ریزی مناسب کمینه شود. ضروری است که دانشجویان فعالیت هفتگی خود را زمان‌بندی کنند تا زمان کافی برای نگارش گزارشات آزمایشگاهی فراهم نمایند. زمان موردنیاز برای تکمیل یک گزارش برای هر فردی متفاوت است. هرچه شما خبره‌تر شوید، زمان موردنیاز کاهش می‌یابد. علاوه بر آن، استفاده از پردازش ورد یک قالب استاندارد در تمام دروس آزمایشگاهی کارایی(کارآمدی) نگارش شما را افزایش می‌دهد. برای گزارشات طولانی‌تر، زمان معمولاً اغلب به طور کاراتر با کار بر روی یک گزارش در بیش از یک جلسه صورت پذیرد. در ابتدا یک پیش‌نویس اولیه(خام) بنویسید. پیش‌نویس اولیه دوباره ملاحظه و تصحیح شده و به صورت نسخه نهایی پس از یک یا چند بار بازنگری آماده شود. نسخه نهایی باید پیش از ارسال به دقت تصحیح و غلط‌گیری شود. شما باید زمان کافی را برای نوشتن، ویرایش و غلط‌گیری گزارش‌ها صرف کنند، پیش از آن‌که نسخه نهایی را ارسال نمایند.

شما در مسیری هستید که قرار است متخصصانی شوید که شاغلین موفقی باشید که می‌دانند گزارشات خود را به مافوق خود منتقل نمایند. شروع به تمرین نمایید!

دانشگاه علم و صنعت ایران

1 - Word

۱-۵- ساختار گزارشات آزمایشگاه فیزیک

گزارشات آزمایشگاه باید طبق آن‌که گزارش‌های کامل یک پروژه است، گزارشی کوتاه برای یک یا دو آزمون و یا یک گزارش کوتاه برای یک یا دو تکنیک، طبقه‌بندی شوند.

گزارشات آزمایشگاه باید همیشه برای آسودگی خواننده نوشته شود. پس، به طور مثال، هر بخش از گزارش باید سرتیتر داشته باشد و بخش‌ها باید به صورتی تنظیم شده‌باشد، و توالی با فهمی آسان داشته باشند. در محتوی این درس، انتظار می‌رود شما قالب‌بندی را برای هر گزارش کامل بفهمید و بتوانید برای محتویات گوناگون تغییرات لازم را اعمال نمایند. گزارشاتی که در بالا توضیح داده شد عموماً شامل چندین بخش مختلف است. بخش‌های موردنیاز برای گزارشات کامل آزمایشگاه فیزیک باید ترتیبی که در ادامه لیست شده‌است، نوشته شود:

۱- صفحه عنوان
۲- بیان اهداف
۳- تئوری آزمایش
۴- توصیف چیدمان آزمایش/ لیست ادوات مورد استفاده
۵- روش کار
۶- داده‌ها
۷- تحلیل داده‌ها
۸- تشریح نتایج و بحث بر روی آن
۹- جمع‌بندی
۱۰- مراجع
۱۱- پیوست

محتوی هر کدام از بخش‌ها در گزارش آزمایشگاه در صفحات آتی توضیح داده می‌شود. اغلب توصیفات به اندازهٔ کافی عمومی هستند که برای تمامی گزارشات موجود باشند. تعدادی از آن‌ها برای گزارشات آزمایشگاه فیزیک پایه(۲) دانشگاه علم و صنعت ایران طراحی شده‌است.

۱- صفحه عنوان

اطلاعات زیر باید در صفحه عنوان ارائه شود:

- یک عنوان مختصر ولی آموزنده(حاوی اطلاعات مفید)

- نام شما
- روزی که آزمایش انجام شده‌است.
- روزی که گزارش ارائه شده‌است.
- نام دیگر اعضای گروه که برای انجام آزمایشات حضور داشته‌اند.
- نام مدرسان آزمایشگاه

۲- بیان اهداف

اهداف آزمایش به اختصار به شکل یک پاراگراف بیان شود. دستور کار یا برگه دستورالعمل در این بخش می‌تواند کمک کند. این حقیقت که آزمایشات در دروس آزمایشگاهی برای آموزش دانشجویان است، هدف ثانویه است که نباید در گزارش ارائه شود. به عبارت دیگر، اهدافی که در گزارش شما نوشته می‌شود، هرگز نباید عبارت ''دانشجویان با استفاده از تجهیزات آشنا می‌شوند''، باشد. بلکه، اهداف باید مسائلی را که روش کار شما و داده‌های شما تلاش می‌کنند به آن پاسخ دهند، را بیان کند. برخی از فعل‌هایی که در اهداف شما به کار برده می‌شوند، ''بررسی نمودن''، ''رسم کردن''،''بررسی نمودن''،'' اندازه‌گیری کردن'' یا ''مقایسه نمودن'' هستند. این بخش باید خواننده را صریحاً از این‌که چرا پروژه انجام می‌شود، آگاه کند.

۳- تئوری

توصیفی مختصر از تئوری مربوط باید فراهم شود تا بخش‌های دیگر گزارش، همچون تحلیل داده‌ها یا بخش‌های مباحثه به‌طور کامل فهمیده شوند. این بخش گاهی با بخش مقدمه و پس‌زمینه تلفیق می‌شود، اگر این عمل منجر به گزارشی خواندنی‌تر شود، معادلات مربوطه باید معرفی شوند و همه اصطلاحاتی که در گزارش مورد استفاده قرار می‌گیرند باید توصیف شوند. معادلات باید به عنوان بخش‌هایی از جملات کامل ارائه شوند.

۴- توصیف چیدمان آزمایش/ لیست ادواتی که به‌کار گرفته شده‌است.

طرحی کلی شفاف، صحیح و مرتب از چیدمان آزمایش آماده کنید که در آن تمام اتصالات داخلی و روابط متقابل نشان داده شود. این بخش، شامل توصیف متنی کوتاه است که به تمام بخش‌های طرح کلی باز می‌گردد. این بخش باید شامل اطلاعاتی باشد که برای خواننده لازم است تا بتواند به‌طور مستقل چیدمان را دوباره تنظیم کند.

تمام تجهیزات و مواردی که در آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند، فهرست شوند. خواننده باید بتواند اقلام معرفی شده در این بخش را به اقلام معرفی شده در بخش چیدمان آزمایشگاهی مرتبط سازد.

۵- روش کار

روش کاری که برای انجام آزمایش اجرا می‌شود، گام به گام به تفصیل شرح داده شود. باید اطلاعات کافی فراهم شود تا خواننده آزمایش را به روش مشابه تکرار نماید. روش‌های ویژه کار استفاده شود تا شرایط ویژه آزمایشگاهی را تضمین کند، یا دقت مطلوبی را در اطلاعاتی که از آزمایشات حاصل می‌شود، مشخص و حفظ کند. همانند تمام بخش‌هایی که در گزارش وجود دارد، روش کار نشان می‌دهد که چه کاری در آزمایشگاه انجام شده و باید انجام می‌شده‌است، بنابراین باید به صورت جمله‌ای مجهول و با فعل زمان گذشتع نوشته شود. **کپی نمودن روش کار از دستورکار بازتابی نادرست از کار تکمیل‌شده در آزمایشگاه بوده و قابل قبول نیست.**

۶- داده‌ها

تمام داده‌های خام که در طی آزمایش به‌دست می‌آید، در این بخش باید عرضه شود. این بخش باید تنها حاوی اطلاعات خام باشد، و نه نتایجی که از بررسی و دستکاری داده‌ها استخراج شده‌است. اگر نیاز باشد در مورد دوم جدولی یکسان با آن‌چه داده‌های خام در آن ارائه شده، عرضه شود، باید داده‌های خام به وضوح به عنوان داده‌های حاصل از انجام آزمایش مشخص شود.

نوع داده‌ها وابسته به آزمایش تغییر می‌کند، می‌تواند اعداد، طرح‌های ساده، تصاویر، عکس‌ها و ... باشد. تمام داده‌های عددی باید به دقت جدول‌بندی شوند. هر جدول، شکل و گراف در گزارش باید زیرنویس[1]، برچسب[2] داشته باشد و شماره‌ای داشته بتشد که در متن نوشتاری به آن ارجاع شود. تمام جدول‌بندی‌ها و رسم‌ها(گراف‌ها) باید به وضوح با سمبل یا نام تعیین شود. واحدها، هر چه باشند، باید همیشه به وضوح ذکر شوند.

۷- تحلیل داده‌ها

این بخش به شکل متنی نشان می‌دهد که چگونه دستکاری فرمولی داده‌ها اجرا شده‌است. در ضمن معادلات و روش‌های کاری را که مورد استفاده قرار گرفته‌است، ارائه می‌کند. اگر بیش از یک معادله مورد استفاده قرار گیرد، تمام معادلات باید دارای شماره‌های متوالی جهت شناسایی باشند تا در هر بخشی که در متن نیاز است به آن ارجاع داده شود. نتایج نهایی تحلیل داده‌ها در این بخش با استفاده از شکل‌ها، گراف‌ها، جداول یا دیگر فرم‌های مناسب گزارش شود. نتیجه نهایی تحلیل داده‌ها، باید اطلاعاتی، معمولاً به شکل جداول، نمودارها، گراف‌ها یا دیگر شکل‌هایی باشد که می‌تواند برای بحث کردن بر روی نتیجه آزمایش یا پروژه به‌کار

1 - Caption
2 - Label

رود. این بخش باید شامل اظهاراتی در مورد دقت داده‌ها، آن‌چه به واسطه خطای تحلیل‌ها پشتیبانی می‌شود، باشد. نمونه محاسبات، جزئیات محاسبات و تحلیل‌های خطاها باید در این بخش ارائه شود.

۸- تشریح نتایج و بحث بر روی آن

این بخش به تفاسیر شما از نتایج آزمایش یا پروژه اختصاص داده می‌شود. اطلاعات از تحلیل داده‌ها بررسی و توضیح داده می‌شود. شما باید همه نتایج خود را شرح داده، تحلیل کرده و توضیح دهید(نه اینکه تنها مجدداً بیان کنید). این بخش باید به این سوال پاسخ دهید، "داده‌ها به من چه می‌گویند؟". همهٔ طرح‌های منطقی از نتیجه را توضیح دهد، برای مثال، نیاز به تکرار آزمایشات یا اندازه‌گیری متغیرهای خاص به طور متفاوت، در ضمن کیفیت و دقت روش کار را ارزیابی کند، نتایج شما را با رفتار مورد انتظار مقایسه کند(اگر چنین مقایسه‌ای ضروری یا مفید است)، یا هر رفتار غیرعادی را توضیح دهد.

۹- جمع‌بندی

همه جمع‌بندی‌های خود را بر پایه نتایج حقیقی خود بنا نهید، مقصود آزمایش و استنباط از نتایج خود را توضیح دهید. نتایج را با توجه به اهداف بیان شده بررسی کنید. این بخش باید جواب این سوال را بدهد "که چه؟". به دنبال آن باشید تا جمع‌بندی را به سیاقی گسترده‌تر با توجه به نتایج انجام دهید.

۱۰-مراجع

با استفاده از قالب‌بندی استاندارد، تمام منابع چاپ‌شده‌ای را که در طی انجام آزمایش و آماده‌سازی گزارش کار آزمایشگاهی خود از آن استفاده نموده‌اید، ذکر کنید. نویسندگان، عنوان مقاله یا کتاب، نام مجله، ناشر، شماره صفحات و زمان چاپ ارائه شود. اگر یک منبع حاوی یک فهرست از مراجع باشد، باید به آن‌ها نیز در مکان‌های مناسب در گزارش ارجاع داده شود.

۱۱- پیوست

جزئیات تحلیل‌ها، محاسبات و ... که دو متن اصلی گزارش به آن ارجاع داده شده‌است، باید در پیوست ارائه شود. اگر پیوست شامل بیش از یک عدد باشد، هر کدام از آن‌ها با حروف(پیوست(الف)، پیوست(ب) و ...) نشانه‌گذاری شده و در جدول محتوا فهرست شود.

۱۲- چک لیست[1]

چک لیست طراحی شده‌است که به شما کمک کند تا گزارشی کامل و با کیفیت حرفه‌ای بنویسید. این به شما کمک می‌کند تا تضمین کنید تمام اطلاعات مهم در موقعیت مناسب قرار گرفته و گزارش با قالب‌بندی مناسب آماده شده‌است. استفاده از چک لیست سبب کسب نمره بهتر می‌شود. شما باید چک لیست امضا شده و کامل را با هر گزارش ارسال نمایید. اساتید توجه ویژه به چک لیست دارند. قوانین زیر باید اعمال شود.

- گزارشی که چک لیست در صفحهٔ اول آن الصاق نشده‌است، نمره داده نمی‌شود، هیچ مهلتی برای آن گزارش داده نخواهد شد.
- اگر آیتمی در لیست چک نشده و تیک نخورده باشد، به اساتید نشان می‌دهد که آن آیتم در گزارش آدرس‌دهی نشده‌است، و بخش نمره مربوط به آن کم خواهد شد.
- اگر آیتمی چک شده‌باشد، اما اگر به‌طور جزئی یا نادرست در گزارش پوشش داده شده‌باشد، امتیاز تعلق گرفته وابسته به میزان خطا یا غفلت در آن است.
- اگر آیتمی چک شده‌باشد، اما در گزارش آدرس‌دهی نشده‌باشد، نمره داده نمی‌شود و مهلتی به آن تعلق نمی‌گیرد. این رفتار، رفتاری غیر اخلاقی، غیر علمی و نادرست است.

دانشگاه علم و صنعت ایران

1 - Checklist

۱- ۶- چک لیست گزارش آزمایشگاه

این چک لیست را تکمیل کرده و آن را در بخش ابتدایی هر گزارش آزمایشگاه خود الصاق نمایید.

☐ من اطمینان دارم که قالب بندی استاندارد ارائه شده برای این گزارش را رعایت کرده‌ام.

☐ تمام اطلاعات موردنیاز در صفحهٔ عنوان ارائه شده‌است.

☐ تمام معادلاتی که در گزارش مورد استفاده قرار گرفته‌است، به طور متوالی شماره‌دهی شده‌است.

☐ همهٔ شکل‌ها شماره و زیرنویس دارند.

☐ محورهای همه گراف‌ها برچسب‌زنی شده‌اند. واحدهای تمام متغیرها ذکر شده‌اند. اگر بیش از یک مجموعه از داده‌ها در یک گراف رسم شده‌است، سمبل‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته و فهرست علائم برای شناسایی هر سمبل به کار برده شده‌است. در صورت ضرورت، منحنی‌های لازم بر داده‌های رسم شده در گراف‌ها تطبیق داده شده‌است.

☐ تمام داده‌های عددی به طور مرتب جدول‌بندی شده‌اند، هر جدولی شماره و عنوان خود را دارد. همه ستون‌ها با نام متغییری که جدول‌بندی شده، برچسب‌زنی شده‌اند. واحدهای متغیرها ذکر شده‌اند.

☐ تمام بخش‌هایی که طبق راهنما برای این گزارش موردنیاز است، ارائه شده‌است.

☐ از نظر املا و نگارش پیش‌نویس‌هاس نهایی این گزارش چک شده‌است.

☐ تصحیح و غلط‌گیری نسخه نهایی این گزارش انجام پذیرفته‌است.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ:

۲- راهنمای دانشجویان برای تحلیل داده‌ها

۲-۱- دقت[1]، صحت[2] و خطای آزمایش[3]

انتقال داده‌ها یکی از جنبه‌های مهم در هر آزمایش است. شما باید بکوشید تا داده‌ها را تا حد امکان صحیح تحلیل کرده و ارائه دهید. به خاطر داشته باشید که در آزمایشگاه، هم وسایل اندازه‌گیری و هم روش اندازه‌گیری هرگز کامل نیستند. هر آزمایشی در معرض خطای آزمایش قرار دارد. گزارشات داده‌ها باید خطای آزمایش را برای همه مقادیر اندازه‌گیری توضیح دهد.

۲-۲- خطای آزمایش

خطای آزمایش بر روی دقت و صحت داده‌ها تأثیر می‌گذارد. دقت نشان می‌دهد که یک اندازه‌گیری چقدر به مقدار شناخته شده یا قابل‌قبول نزدیک است. برای مثال، فرض کنید که جرم یک نمونه معلوم ۵٫۸۵ گرم باشد. اندازه‌گیری ۵٫۸۱ گرم دقیق‌تر از اندازه‌گیری ۶٫۰۵ گرم است. صحت نشان می‌دهد که چه مقدار چندین اندازه‌گیری به یکدیگر نزدیک هستند. هرچه مقادیر اندازه‌گیری‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، صحت آن‌ها بالاتر است.

اندازه‌گیری‌ها می‌توانند صحیح باشند گرچه دقیق نیستید. مجدداً فرض کنید که نمونه با جرم مشخص۵٫۸۵ گرم است. اندازه‌گیری‌ها صحیح است زیرا همهٔ آن‌ها نزدیک به یکدیگر هستند، اما هیچکدام از اندازه‌گیری‌ها دقیق نیستند، زیرا آن‌ها از جرم شناخته‌شده (معلوم) نمونه دور هستند.

۲-۲-۱- خطاهای سیستماتیک[4]

خطاهای سیستماتیک خطاهایی هستند که در هر زمان که شما یک اندازه‌گیری خاص را انجام می‌دهید، اتفاق می‌افتد. مثال‌های آن‌ها شامل خطاهای کالیبراسیون دستگاه‌ها و خطاهای ناشی از روش‌های کار و فرضیات ناقص هستند. این نوع خطاها اندازه‌گیری‌ها را بیشتر یا کمتر از مقادیری می‌کنند که در غیاب خطاهای سیستماتیک حاصل می‌شود. یک مثال از خطاهای سیستماتیک می‌تواند زمانی رخ دهد که یک تعادل(توازن) به طور صحیح کالیبره نشده باشد. هر اندازه‌گیری که با این ابزار صورت می‌گیرد، غلط است. اگر خطای سیستماتیک وجود داشته باشد، اندازه‌گیری نمی‌تواند دقیق باشد.

1 - Accuracy
2 - Precision
3 - Experimental error
4 -Systematic error

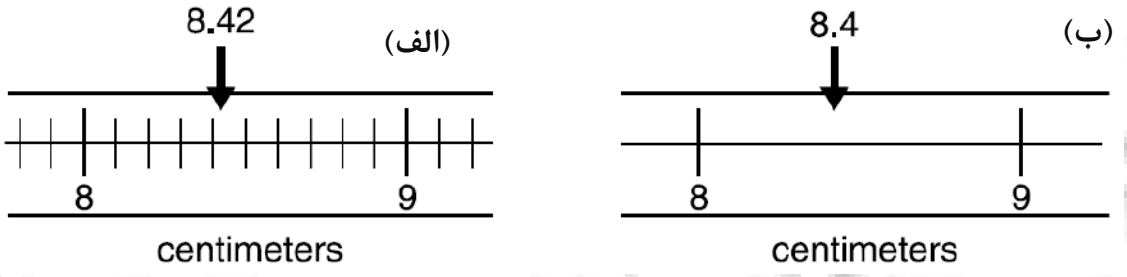
۲-۲-۲- خطاهای تصادفی[1]

خطاهای تصادفی خطاهایی هستند که نمی‌توانند پیش‌بینی شوند. آن‌ها شامل خطاهای داوری در خواندن یک متر یا یک مقیاس و خطاهای ناشی از نوسانات شرایط آزمایشگاهی هستند. برای مثال، فرض کنید که شما اندازه‌گیری دما را در پریود چندین روز در کلاس انجام می‌دهید. تغییرات بزرگ در دمای کلاس ممکن است منجر به خطاهای تصادفی شود، هنگامی‌که تغییرات دمای کلاس را اندازه‌گیری می‌کنید. اگر خطاهای تصادفی در آزمایش کوچک باشند، می‌توان گفت که آزمایش صحیح است.

۲-۳- ارقام معنی‌دار[2]

داده‌هایی که در طی آزمایش ثبت می‌شود، باید فقط شامل ارقام معنی‌دار باشد. ارقام معنی‌دار اعدادی هستند که در اندازه‌گیری یا محاسبه معنی دارند. آن‌ها رقم‌های با معنی نیز نامیده می‌شوند. ادوات اندازه‌گیری که شما استفاده می‌کنید. تعداد ارقام معنی‌داری را که شما باید ثبت نمایید مشخص می‌کند. اگر شما از ادوات دیجیتال استفاده می‌کنید، مقدار اندازه‌گیری را دقیقاً همان‌گونه که بر روی صفحه نمایش داده می‌شود، ثبت کنید. اگر شما مجبور هستید نتیجه را از مقیاس خط‌کشی شده بخوانید، مقداری که شما ثبت می‌کنید باید شامل همه اعداد قطعی و یک عدد غیرقطعی باشد.

برای مثال، شکل(۱) اندازه‌گیری یکسانی که توسط دو مقیاس متفاوت انجام شده‌است را نشان می‌دهد. در شکل(۱-الف)، اعداد ۸ و ۴ قطعی هستند زیرا با نشان‌دارسازی بر روی مقیاس نشان داده‌شده‌اند، عدد ۲ تخمینی است، پس عدد غیرخطی است. این اندازه‌گیری سه رقم با معنا دارد، ۸٫۴۲. مقیاس شکل(۱-ب)، ۸ و ۹ را نشان‌دار ساخته‌است، ۸ قطعی است، اما شما باید عدد ۴ را تخمین بزنید، پس عدد غیرقطعی است. این اندازه‌گیری ۸٫۴ سانتی‌متر است. گرچه شبیه اندازه‌گیری سمت چپ است، اما تنها دو رقم معنی‌دار دارد، زیرا نشانه‌گذاری‌ها از یکدیگر دورتر هستند.



شکل(۱): نمایشی از تشخیص ارقام بامعنا

1 - Random error
2 - Significant figures

۲-۳-۱- عدم قطعیت

عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها همیشه باید به یک رقم با معنا گرد شود. هنگامی‌که اندازه‌گیری‌ها با ابرازی انجام می‌شود که مقیاس خط‌کشی شده دارد، عدم قطعیت نیمی از دقت مقیاس است. نشانه‌گذاری دقت را مشخص می‌کند. در مقیاس سمت چپ نشانه‌گذاری هر ۰٫۱ سانتی‌متر صورت پذیرفته، بنابراین عدم قطعیت نیمی از آن است، که ۰٫۰۵ سانتی‌متر است. روش صحیح گزارش این اندازه‌گیری ۰٫۰۵± ۸٫۴۲ سانتی‌متر است. مقیاس شکل(۱- ب) هر یک سانتی‌متر نشانه‌گذاری شده‌است، بنابراین عدم قطعیت ۰٫۵ سانتی‌متر است. روش صحیح گزارش این اندازه‌گیری ۰٫۵± ۸٫۴ سانتی‌متر است. جدول(۱) قوانینی که باید در تعیین ارقامی‌که با معنا هستند، دنبال شوند را توضیح می‌دهد.

دانشگاه علم و صنعت ایران

جدول(۱): قوانین تعیین تعداد ارقام بامعنا

مثال‌ها	قانون
۴٫۷۳۵ *km* چهار رقم با معنا دارد ۵۷۳٫۲۷۴ *in.* شش رقم با معنا دارد	ارقام غیرصفر همیشه با معنا هستند
۰٫۳۸ *m* دو رقم با معنا دارد ۰٫۰۰۲ *in.* یک رقم با معنا دارد	صفرهای قبل از اعداد دیگر با معنا نیستند
۴۲٫۹۰۷ *m* پنج رقم با معنا دارد ۰٫۰۰۷۰۶ *in.* سه رقم با معنا دارد ۸٫۰۰۵ *km* چهار رقم با معنا دارد	صفرهای بین دیگر اعداد با معنا است
۹۷۵٫۳۸۱۰ *cm* هفت رقم با معنا دارد ۴۷۱٫۰*m* چهار رقم با معنا دارد	صفرهایی که سمت راست همهٔ اعداد دیگر باشد اگر سمت راست نقطهٔ اعشار باشد، با معنا است.
۸۷۰۰ *km* حداقل دو رقم با معنا دارد، اما عدد دقیق مجهول است ۲۰ *in.* حاقل دو رقم با معنا دارد، اما عدد دقیق مجهول است	تعیین آن‌که آیا صفرهای سمت راست دیگر اعداد بامعنا هستند، اگر اعداد هیچ نقطهٔ اعشاری نداشته نباشند، غیرممکن است
۶۲۰٫۰ *km* چهار رقم با معنا دارد ۵۱۰۰٫۴ *m* پنج رقم با معنا دارد ۶۷۰٫ *in.* سه رقم با معنا دارد	اگر یک عدد با نقطهٔ اعشار نوشته شود، صفرهای سمت راست همهٔ اعداد دیگر با معنا است.
۶٫۰۲×۱۰^{۴} *cm* سه رقم با معنا دارد	تمام ارقامی که با نماد علمی نوشته می‌شوند، با معنا هستند

۲-۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌تواند شامل محاسبات، همچون تقسیم جرم به حجم جهت تعیین چگالی، یا تفریق جرم ظرف از جرم کل اندازه‌گیری شده جهت تعیین جرم ماده باشد. استفاده از قواعد صحیح ارقام با معنا در طی این محاسبات به منظور جلوگیری از نتایج غلط یا گمراه‌کننده مهم است.

هنگامی‌که کمیات به یکدیگر افزوده یا از یکدیگر کم می‌شوند، عدد حاصل باید تعداد ارقام سمت راست اعشار برابر با کمینه تعداد ارقام سمت راست اعشار اعدادی را داشته باشد که به یکدیگر افزوده و یا از هم کم می‌شوند. جدول زیر نشان می‌دهد که چگونه نتایج صحیح باید نوشته شود:

جدول(۲): مثال‌هایی از ارقام با معنا در جمع و تفریق داده‌های آزمایشگاهی

توضیح	مثال
نتیجه با یک رقم پس از اعشار نوشته می‌شود زیرا عدد ۳/۷ فقط یک رقم پس از اعشار دارد	$۳/۷\ cm + ۴/۶۰۸۳\ cm = ۸/۳cm$
نتیجه دو رقم پس از اعشار دارد چون عدد ۶/۲۸ فقط دو رقم پس از اعشار دارد	$۴۸/۳۵۰۶\ m - ۶/۲۸\ m = ۴۲/۱۰\ m$
نتیجه هیچ عددی پس از اعشار ندارد زیرا عدد ۸ هیچ رقمی پس از اعشار ندارد	$(۸km - ۴/۲km) + ۱/۹۴\ km = ۶km$

توجه کنید که نتایج جمع و تفریق تعداد صحیح رقم با معنا دارد اگر شما موقعیت اعشار را در نظر بگیرید. با ضرب یا تقسیم، نتیجه باید تعداد یکسان رقم با معنا برابر با کمینه رقم با معنای اعداد شرکت‌کننده در محاسبه را داشته باشد. جدول زیر نشان می‌دهد که چگونه نتایج مناسب باید نوشته شود:

جدول(۳): مثال‌هایی از ارقام با معنا در ضرب و تقسیم داده‌های آزمایش

توضیح	مثال
نتیجه با سه رقم با معنا نوشته شده‌است زیرا ۲/۳۰ سه رقم با معنا دارد	$۵/۲۴۶in. \times ۲/۳۰\ in. = ۱۲/۱\ in.^2$
نتیجه با دو رقم اعشار با معنا نوشته شده‌است زیرا ۰/۰۳۸ دو رقم با معنا دارد	$۰/۰۳۸\ cm \div ۵/۲۷۳\ cm = ۰/۰۰۷۲$
نتیجه با دو رقم با معنا نوشته شده‌است زیرا ۲/۸ دو رقم با معنا دارد(توجه نمایید که در این مثال استفاده از نماد علمی اجباری است زیرا ۲۱۰ تعداد غیرواضحی از ارقام با معنا دارد	$۷۶/۳۴\ m \times ۲/۸m = ۲/۱ \times ۱۰^{۲}\ m^2$

هنگامی‌که محاسبات شامل ترکیبی از عملیات‌ها است، شما باید یک یا دو رقم اضافه‌تر را در هر گام نگه دارید تا از خطای گرد کردن جلوگیری نمایید. در انتهای محاسبات، به تعداد صحیح ارقام با معنا گرد کنید. یک استثنای این قاعده هنگامی است که محاسبات شامل عدد دقیق باشد، همچون تعداد دفعاتی که توپ به زمین برخورد کرده و بازمی‌گردد یا تعداد امواجی که در یک بازهٔ زمانی از یک نقطه می‌گذرد. همانگونه‌که در مثالی که به دنبال می‌آید نشان داده شده‌است، اعداد دقیق را هنگامی‌که در مثالی که به دنبال می‌آید نشان داده شده‌است، اعداد دقیق را هنگامی‌که ارقام با معنی را در محاسبه تعیین می‌کنید، در نظر نگیرید.

❖ **مثال**

هنگامی‌که آزمایش قطره روغن ملیکان انجام می‌شود، در می‌یابید که یک قطره روغن سه الکترون اضافه دارد، بار کل قطره چقدر است؟

بار = (تعداد الکترون‌ها)(بار هر الکترون) $\Rightarrow q = ne = (3e)\left(1.6\times10^{-19}\,\frac{C}{e}\right) = 4.8\times10^{-19}C$

هنگامی‌که تعداد ارقام با معنا را در پاسخ می‌یابیم، تعداد الکترونها را فراموش می‌کنیم، زیرا یک عدد دقیق است.

دانشگاه علم و صنعت ایران

۲-۵- میانگین[1]، انحراف معیار[2] و خطای استاندارد[3]

شما می‌توانید عدم قطعیت در داده‌ها را با محاسبه میانگین و انحراف معیار محاسبه کنید. در ادامه توصیف این پارامترها و روابط ریاضی حاکم بر آن ارائه خواهد شد.

۲-۵- ۱- میانگین

میانگین یک مجموعه داده جمع همه مقادیر اندازه‌گیری تقسیم بر تعداد اندازه‌گیری‌ها است. اگر داده-های شما نمونه یک جمعیت[4](بسیار بزرگتر از مجموعه داده‌ها) باشد، سپس میانگینی که شما محاسبه می‌کنید تخمینی از میانگین جمعیت است. میانگین، $\overline{X}$، با استفاده از این فرمول تعیین می‌شود:

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \ldots}{n} \qquad (۱)$$

که در آن X_1، X_2 و ... مقادیر اندازه‌گیری شده و n تعداد اندازه‌گیری‌ها است.

۲-۵-۲- انحراف از معیار

انحراف معیار مقیاسی از آن است که مقادیر داده‌ها چه مقدار پراکنده شده‌اند. اگر اندازه‌گیری‌های شما مقادیر یکسانی داشته باشند، سپس انحراف معیار معیار شما کوچک است. هرکدام از مقادیر نزدیک به میانگین هستند. اگر اندازه‌گیری‌های شما گسترهٔ وسیعی از مقادیر را داشته باشند، سپس انحراف معیار بزرگ خواهد بود. برخی از مقادیر نزدیک به میانگین هستند، اما بقیه از میانگین دور هستند. اگر شما تعداد زیادی اندازه‌گیری انجام دهید، سپس اکثریت اندازه‌گیری‌ها در میان یک انحراف معیار بالا یا زیر میانگین قرار می‌گیرند(بازهٔ اطمینان[5] را برای گراف گستره‌های انحراف معیار ببینید).

ازآن‌جا که انحراف معیار مقیاسی از عدم قطعیت است، آن‌ها باید طبق استاندارد تنها یک رقم با معنا را در نظر بگیرند. انحراف معیار معمولاً با سمبل یونانی سیگما، σ، برای داده‌هایی که شکل یک نمونه از مجموعه جمعیت را دارد، و با سمبل، S، برای داده‌هایی که یک نمونه را شکل می‌دهد، نمایش داده می‌شود.

برای محاسبه انحراف معیار از این فرمول استفاده می‌شود:

1 - Mean
2 - Standard Deviation
3 - Standard error
4 - Sample of a population
5- Confidence

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i-\overline{X}\right)^2}{n-1}} \qquad (۲)$$

۲-۵-۳- خطای استاندارد

هنگامی‌که شما اندازه‌گیری یک کمیت را تکرار می‌کنید، خطای استاندارد، SE، یک مجموعه داده تخمینی از صحت آن است. خطای استاندارد یک مقیاسی از عدم قطعیت داده‌است، اما اگر تعداد زیادی از مقادیر داده‌ها را شامل شود، این موضوع انحراف معیار را کاهش می‌دهد. خطای استاندارد با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$SE=\frac{S}{\sqrt{n}} \qquad (۳)$$

❖ **مثال**:

فرض کنید شما مقادیر زیر را برای دمای یک ماده اندازه‌گیری نمودید:

آزمون	۱	۲	۳	۴
دما($^{\circ}C$)	۲۰/۵	۲۲/۰	۱۹/۳	۲۳/۰

مقدار میانگین داده

$$\overline{X}=\frac{\sum_{i=1}^{4}X_i}{4}=\frac{20.5+22.0+19.3+23.0}{4}=21.2\,^{\circ}C \qquad (۴)$$

است. انحراف معیار داده‌ها چنین است:

$$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i-\overline{X}\right)^2}{(n-1)}}\Rightarrow S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{4}\left(X_i-\overline{X}\right)^2}{(4-1)}}= \qquad (۵)$$

$$\sqrt{\frac{(20.5-21.2)^2+(22.0-21.2)^2+(19.3-21.2)^2+(23.0-21.2)^2}{3}}=2$$

(گردشده به یک رقم با معنا)

خطای استاندارد

$$SE=\frac{S}{\sqrt{n}}=\frac{1.63}{\sqrt{4}}=0.8 \qquad (۶)$$

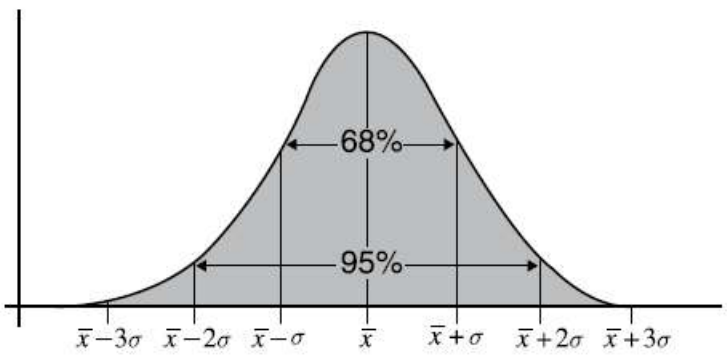
(گردشده به یک رقم با معنا)

با استفاده از انحراف معیار، ما دما را به صورت $۲۱٫۲\pm۲\,^{\circ}C$ گزارش می‌دهیم. از آن‌جا که ما تعداد کمی داده داریم، انحراف معیار $۲\,^{\circ}C$ نشان می‌دهد که اغلب مقادیر داده‌ها نزدیک مقدار میانگین هستند. ولی، اگر ما تعداد زیادی از اندازه‌گیری‌ها را انجام دهیم، انحراف معیار نشان می‌دهد که اکثریت(مخصوصاً ٪ ۶۸، بازه‌های اطمینان را در زیر ببینید). مقادیر داده‌ها بین $۱۹٫۲\,^{\circ}C$ و $۲۳٫۲\,^{\circ}C$ قرار گرفته‌اند. متناوباً، داده می‌تواند با استفاده از خطای استاندارد، $۲۱٫۲\pm۰٫۸\,^{\circ}C$ گزارش شود.

۲-۶- بازه‌های اطمینان

بازهٔ اطمینان گستره‌ای از مقادیر است که در آن احتمالاً **مقدار حقیقی**[1] قرار دارد. اگر شما یک کمیت را اندازه‌گیری نمایید، همچون جرم یک ایزوتوپ خاص، و شما این اندازه‌گیری را چندین بار تکرار نمایید، شما انتظار یک انحراف معیار کوچک در مقایسه با میانگین را دارید، بنابراین بازهٔ اطمینان باریک است. یک بازهٔ اطمینان پهن در این حالت بر امکان (احتمال) خطاهای تصادفی در اندازه‌گیری‌های شما دلالت دارد.

بازه‌های اطمینان با روش‌های مختلفی می‌تواند بیان شود. گراف زیر روشی که معمولاً در فیزیک به‌کار می‌روند را نشان می‌دهد.



شکل(۲): نمایش روش معمول تعیین بازه اطمینان در فیزیک

این روش تنها برای داده‌هایی که توزیع نرمال(زنگی شکل[2]) دارند، به‌کار می‌رود. میانگین در بیشینه توزیع قرار می‌گیرد. بازه‌های اطمینان در هر دو سمت بیشینه، مضربی از انحراف معیار از میانگین را توصیف می‌کند. درصد مرتبط با هر بازهٔ اطمینان(٪۶۸، ٪۹۵ و ...) با محاسبه سطح زیر منحنی تعیین می‌شود.

گونه‌های متنوعی از انواع داده‌ها در موضوعات مختلف از توزیع منحنی زنگ پیروی می‌کند. در فیزیک، منحنی‌های زنگ در اندازه‌گیری‌های مکرر یک مقدار، همچون اندازه‌گیری زمان واپاشی فلورسانس به‌کار می‌رود.

1 - True value
2 - Bell- Shaped

توزیع زنگی‌شکل هنگامی‌که بیش از یک مقدار مرکزی انتظار می‌رود، یا زمانی‌که تنها تعداد کمی اندازه‌گیری صورت می‌پذیرد، مناسب نیست.

۲-۷- پخش خطا[1]

اگر محاسبات شما شامل نتایج دو یا چند اندازه‌گیری باشد، شما باید عدم قطعیت ترکیبی[2] اندازه‌گیری را بیان کنید.

عدم قطعیت ترکیبیِ کمیاتی که به یکدیگر افزوده می‌شوند یا تفریق می‌شوند، ریشه دوم جمع مربعات عدم قطعیت‌های مجزا است، اگر به عنوان مثال، شما کمیت $K = F + G - H$ را که در آن F، G و H مقادیر اندازه‌گیری شده‌است، محاسبه کنید، عدم قطعیت آن‌ها ΔF، ΔG و ΔHاست که در آن سمبل Δ، در این حالت، "عدم قطعیت" معنا می‌شود. پس، عدم قطعیت K،

$$\Delta K = \sqrt{(\Delta F)^2 + (\Delta G)^2 + (\Delta H)^2} \qquad (۷)$$

است.

❖ مثال

فرض کنید شما جرم دو جسم را $۳٫۱۸ \pm ۰٫۰۱$ kg و $۲٫۱۸۴ \pm ۰٫۰۰۱$ kg اندازه گرفته‌اید، عدم قطعیت ترکیبی

$$\Delta m_{Combined} = \sqrt{(\Delta m_1)^2 + (\Delta m_2)^2} = \sqrt{(0.01)^2 + (0.001)^2} = 0.01 \qquad (۸)$$

است. حاصل‌جمع دو جرم سه رقم با معنا دارد و عدم قطعیت ترکیبی آن باید به صورت $۵٫۳۶ \pm ۰٫۰۱$ kg ثبت شود.

برای محاسبه عدم قطعیت ترکیبی کمیاتی که در یکدیگر ضرب یا بر یکدیگر تقسیم می‌شوند، عدم قطعیت باید تقسیم بر مقادیر میانگین شود. فرض کنید $K = F \times G \div H$ باشد، عدم قطعیت ترکیبی هنگامی‌که ضرب یا تقسیم می‌شوند، چنین است:

$$\Delta K = |K| \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2} \qquad (۹)$$

1- Propagation error
2 - Combined Uncertainty

❖ مثال

فرض کنید می‌خواهید اندازهٔ شتاب جسمی را محاسبه کنید. شما نیروی خالص وارد بر جسم را، $F = 1.49 \pm 0.03\ N$، و جرم را $m = 3.42 \pm 0.01 kg$، اندازه‌گیری نموده‌اید. شتاب بدون عدم قطعیت برابر

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1.49\,N}{3.42\,kg} = 0.436\,m/s^2 \qquad (۱۰)$$

است. عدم قطعیت ترکیبی

$$\Delta a = |a|\sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2} = |0.435|\sqrt{\left(\frac{0.03}{1.49}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{3.42}\right)^2} = 0.009\ \frac{m}{s^2} \qquad (۱۱)$$

شتاب باید به صورت $\frac{m}{s^2}$ ۰٫۰۰۹±۰٫۴۳۶ ثبت شود.

۲-۸- نتایج مقایسه: درصد تفاوت[1] و درصد خطا[2]

اگر گروه‌های آزمایشگاهی دو مقدار مختلف برای کمیت آزمایش اندازه‌گیری کنند، شما باید علاقمند باشید تا بدانید چگونه مقادیر را با یکدیگر مقایسه می‌کنید. به عنوان مثال، یک اختلاف بزرگ، می‌تواند نشان‌دهنده خطاها در اندازه‌گیری یا دیگر تفاوت‌ها در روش‌های اندازه‌گیری باشد. مقایسه مقادیر اغلب درصد تفاوت را بیان می‌کند، که به صورت مقدار مطلق اختلاف تقسیم بر میانگین، و ضرب نتیجه در صد توصیف می‌شود:

درصد تفاوت = |(مقدار دوم – مقدار اول)/(۰٫۵×(مقدار دوم + مقدار اول))|×۱۰۰ (۱۲)

شاید شما بخواهید مقدار تئوری یا موردانتظار را با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید، تا بدانید که آیا مقدار شما به مقدار معلوم نزدیک یا آز آن دور است. این موضوع می‌تواند مشخص کند که آیا روش آزمایش شما معتبر است یا خیر؟ در این حالت شما می‌توانید درصد خطا را مشخص کنید، که به صورت قدرمطلق اختلاف مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار قابل انتظار تقسیم بر مقدار مورد انتظار، ضربدر ۱۰۰ توصیف می‌شود:

درصد خطا=|(مقدار موردانتظار- مقدار اندازه‌گیری شده)/ مقدار موردانتظار|×۱۰۰ (۱۳)

1 - Percent difference
2 - Percent error

توجه کنید که هنگامی‌که مقدار موردانتظار خیلی کوچک باشد، درصدخطا خیلی بزرگ می‌شود زیرا تقسیم بر یک عدد خیلی کوچک اتفاق می‌افتد. این مقدار تعریف نشده‌است هنگامی‌که مقدار موردانتظار صفر باشد. درصد خطا در این حالت کمیتی مفید نیست.

۲-۹- گراف‌ها

گراف‌ها اغلب روشی عالی برای ارائه و تحلیل داده‌ها هستند. هنگامی‌که گرافی را رسم می‌کنیم، راهنمایی‌هایی[1] وجود دارند که باید از آن پیروی نمایید تا در حد امکان موضوع را واضح کند:

- ✓ هر محور باید با نام متغیری که در آن راستا تعریف و رسم شده و واحد آن برچسب‌زنی شود.
- ✓ هر محور باید شامل تعداد قابل‌قبولی از علامت‌گذاری در هر بازه باشند. وجود تعداد زیادی علامت-گذاری گراف را شلوغ و خواندن آن را سخت می‌کند. تعدادکم علامت‌گذاری سبب می‌شود که نقاط داده به سختی تعیین شود.
- ✓ به طور معمول، گراف‌ها باید با عنوان یا زیرنویس معنی‌دار همراه باشند.

۲-۱۰- متغیرهای وابسته و مستقل

هنگامی‌که شما داده‌ها را به صورت گراف رسم می‌کنید، اغلب متغیر وابسته را بر حسب متغیر مستقل رسم می‌کنید. متغیر مستقل بر روی محور x و متغیر وابسته بر روی محور y رسم می‌شود. **یک متغیر مستقل** متغییری است که مستقل است و با دیگر متغیرهایی که شما سعی می‌کنید اندازه بگیرید تغییر نمی‌کند. برای مثال، زمان اغلب متغیر مستقل است: در سینماتیک، فاصله، سرعت و شتاب وابسته به زمان هستند، اما بر روی زمان تأثیر نمی‌گذارند. **یک متغیر وابسته** چیزی است که وابسته به دیگر متغیرها است. برای مثال، در حرکت شتاب ثابت، موقعیت جسم با زمان تغییر می‌کند، پس موقعیت جسم وابسته به زمان بوده و یک متغیر وابسته است.

۲-۱۱- داده‌های ترسیمی به صورت یک خط مستقیم

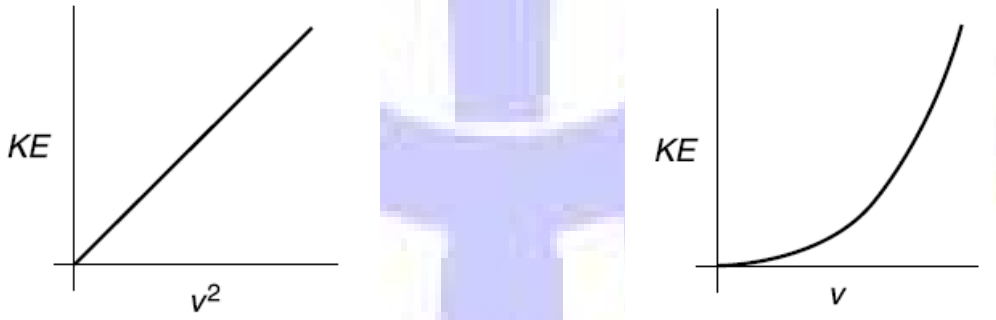
هنگامی‌که یک نمودار بر روی محورهای x-y رسم می‌شود، ساده‌ترین رابطه‌ای که می‌توان وجود داشته باشد، یک خط راست است. نقاط داده‌های رسم شده به صورت یک خط راست مفید است، زیرا شما به راحتی می‌توانید ببینید که نقاط داده به یک خط تعلق دارند. یک خط فهم روابط داده‌ها را آسان می‌نماید.

1 - Guideline

شما می‌توانید داده‌ها را بر روی گراف به صورت خط راست نمایش دهید تا بتوانید شیب، m و عرض از مبدا،b، را در معادله خطی $y = mx + b$ مشخص نمایید. شیب مقیاسی از آن است که y چگونه با تغییر x، تغییر می‌کند، یعنی، $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$. عرض از مبدا جایی است که خط از محور y می‌گذرد(یعنی جایی‌که $x=0$ است.).

۲-۱۲- خطی نمودن داده‌ها

حتی اگر داده‌هایی که شما اندازه‌گیری نموده‌اید، رابطهٔ خطی نداشته باشند، شما می‌توانید آن را با تغییر شکل(فرم) متغیرها در گراف خود به صورت خط راست رسم کنید. یک روش تغییر رابطه به‌گونه‌ای است که با تغییر شکل متغیر رابطه‌ای به فرم $y = mx + b$ حاصل شود. برای توان‌های x، داده‌ها به شکل $y = Ax^c + b$ است. برای خطی نمودن این داده‌ها، x^c را در معادله با u جایگزین نموده و y را بر حسب $u\left(x^c\right)$ رسم کنید، اینگونه معادله خطی می‌شود. در این حالت گرافی خطی حاصل می‌شود. برای مثال برای رسم گراف انرژی جنبشی، KE، بر حسب سرعت، V، برای تابع $KE = \frac{1}{2}mV^2$، همانند شکل(۳- الف) تابعی سهموی حاصل می‌شود. اما، اگر متغیر محور افقی را با V^2 جایگزین کنید، گراف خطی خواهد شد، همانند آن‌چه در شکل(۳-ب) نشان داده شده‌است.



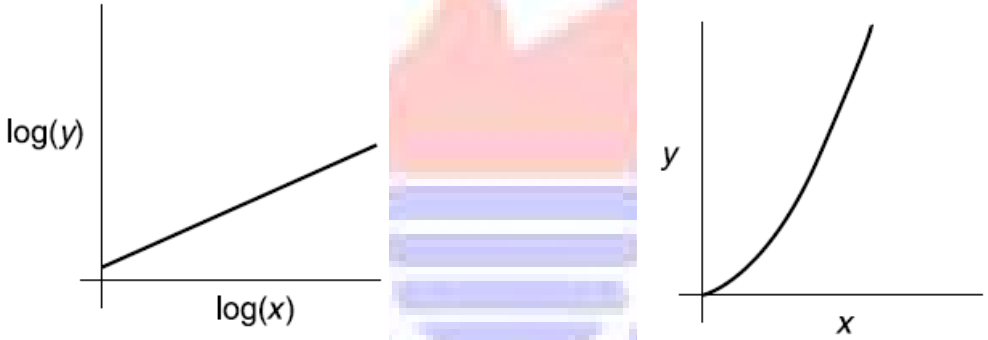
(الف) (ب)

شکل(۳): الف) نمودار انرژی جنبشی بر حسب سرعت، ب) نمودار انرژی جنبشی بر حسب مجذور سرعت

اگر داده‌ها نمایی باشد، به صورت $y = Ae^{bx}$، یا اگر توانی از x باشد، به صورت $y = ax^n$، از هر دو طرف معادله لگاریتم می‌گیریم تا شکل خطی حاصل شود. برای داده‌های نمایی، معادله‌ای که شما به‌دست می‌آورید، $Ln(y) = Ln(A) + bx$ است. داده‌ها یک خط با عرض از مبدا $Ln(A)$ و شیب b را تقریب می‌زند.

به‌طور مشابه، برای یک معادله با توان x، از دو طرف معادله $y = ax^n$ لگاریتم می‌گیریم که منجر به $Log(y) = Log(a) + nLog(x)$ می‌شود. اگر شما $Log(y)$ را بر حسب $Log(x)$ رسم کنید، داده‌ها یک

خط با عرض از مبدا $Log(a)$ و شیب n را تقریب می‌زند. همانند آن‌چه در شکل‌های(۴- الف) و (۴-ب) نمایش داده شده‌است.

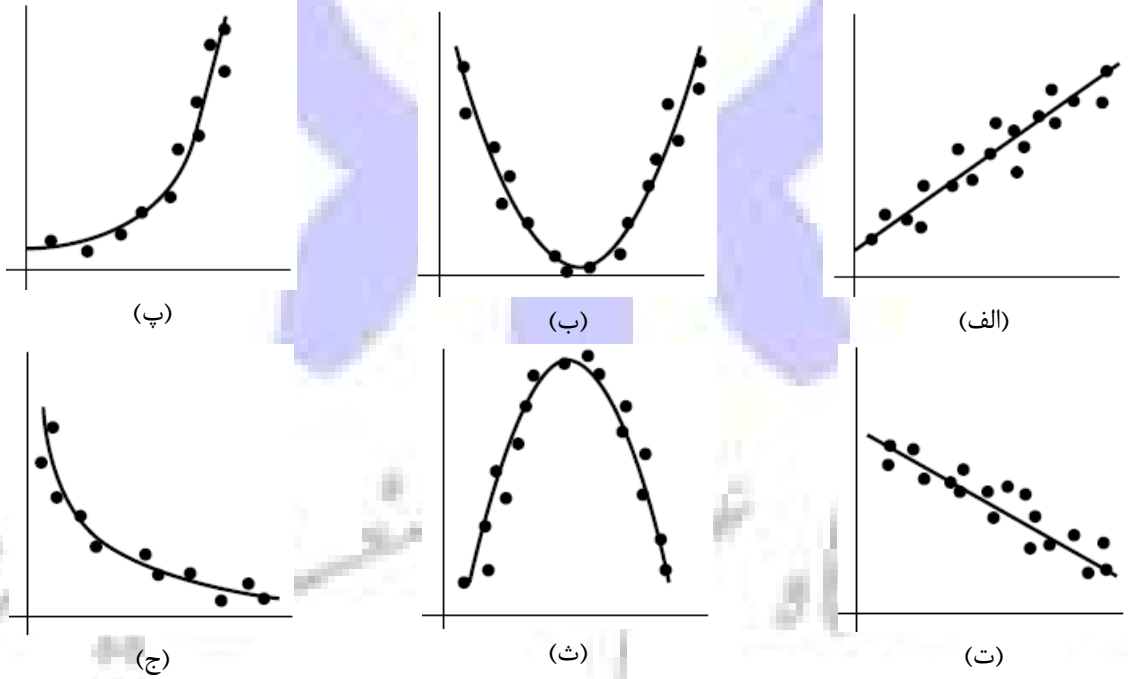


(ب) (الف)

شکل(۴): نمودار تابعی توانی به شکل $y = ax^n$ ، الف) پیش از خطی‌سازی، ب) پس از خطی‌سازی

۲-۱۳- برازش منحنی[1]

یکی از روش‌های مفید تحلیل داده‌ها تعیین آن است که آیا متناظر با مدل ریاضی خاص است هست یا خیر؟ اولین قدم، رسم نقاط و دیدن آن است که آیا روند قابل تشخیصی را همچون یک روند خطی، درجه دوم یا تابع نمایی دنبال می‌کند یا خیر؟ گراف‌های شکل(۵) مثال‌هایی از این انواع را نشان می‌دهند.



(پ) (ب) (الف)

(ج) (ث) (ت)

شکل(۵): طرحی از رفتار (الف) و (ت) خطی، (ب) و (ث) درجه دو و (پ) و (ج) نمایی داده‌های آزمایش

1 - Curve fitting

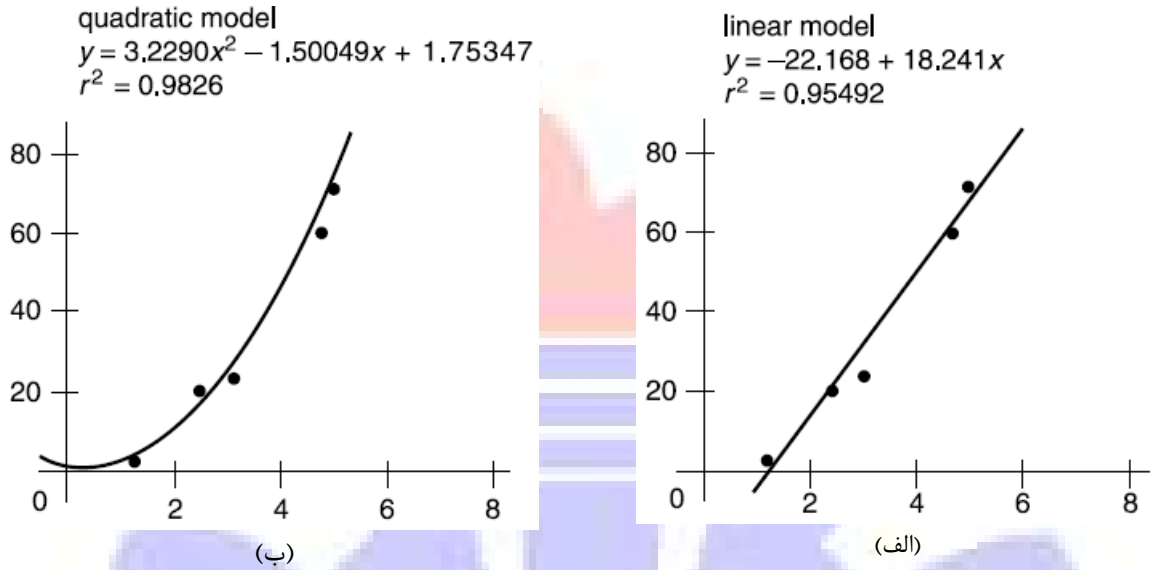
معادله عمومی یک تابع خطی $y = mx + b$ است که در آن m شیب و b عرض از مبدا (محل برخورد خط با محور y) است. برای مثال، یک تابع خطی در فیزیک وابستگی سرعت به زمان برای یک جسم متحرک با شتاب ثابت، $V = V_0 + at$، است، که در آن شتاب a، شیب و سرعت V_0 عرض از مبدا است.

معادلهٔ عمومی یک تابع درجه دوم $y = ax^2 + bx + c$ است، که در آن a، b و c ثوابت دلخواه هستند. یک مثال تابع درجه دو در فیزیک انرژی پتانسیل فنر، $U = \frac{1}{2}kx^2$، است که در آن x فاصله فنری است که از حالت تعادل کشیده شده، k ، ثابت فنر است، در این حالت b و c صفر است. مثال دیگری از یک تابع درجه دو موقعیت به صورت تابعی از زمان برای جسم با شتاب ثابت، $X = \frac{1}{2}at^2 + V_0t + X_0$ ، است که در آن a شتاب، V_0 سرعت اولیه و X_0 موقعیت اولیه است.

معادلهٔ عمومی یک تابع نمایی $y = Ae^{bx}$ است، که در آن A و b ثوابت دلخواه هستند. یک مثال تابع نمایی در فیزیک تعداد ذرات رادیواکتیو باقی‌مانده پس از یک زمان خاص از واپاشی رادیواکتیو $N = N_0e^{-\lambda t}$ است که در آن N_0 تعداد ذرات اولیه، λ نرخ واپاشی است. اگر الگو به وضوح خطی باشد، یا اگر شما می‌توانید با خطی‌سازی داده‌ها را رسم کنید، شما می‌توانید با یک جسم با لبه صاف بهترین خط تطبیق‌یافته را که تقریباً تعداد نقاط بالا و پایین خط یکسان است، رسم کنید. بهتر است جهت رسم دقیق خط، روش برازش حداقل مربعات [1] را مطالعه نموده و به‌کار برید.

اگر یک معادلهٔ دقیق‌تر مطلوب باشد، یا داده‌ها به وضوح از یک الگوی خطی پیروی نکنند، می‌توانید از کامپیوتر برای تطبیق داده به مدل ریاضی استفاده نمایید(که البته در آزمایشگاه تمام دانشجویان باید از برنامه‌های کامپیوتری همچون اکسل [2]، مت-لب [3] و ... جهت رسم نمودار استفاده کنند). در این حالت، شما داده‌ها را وارد نموده و مدلی را که فکر می‌کنید بهترین تطبیق را بر داده‌ها دارند، انتخاب می‌کنید. این تجزیه و تحلیل رگرسیون [4] نامیده می‌شود. تجزیه و تحلیل رگرسیون یک روش معمول برازش منحنی است. تحلیلی که با استفاده از این روش انجام می‌شود، پارامترهای معادله‌ای که برای برازش انتخاب نموده‌اید، و همچنین پارامترهایی را که توضیح می‌دهد که با چه دقتی داده بر مدل برازش یافته‌است، را ارائه می‌دهد. گراف‌های شکل(۶- الف) و (۶- ب) داده‌های یکسانی را نشان می‌دهد که مدل خطی و درجه دوم به آن برازش یافته‌است. مقدار r^2 ضریب تشخیص [5](ضریب تعیین‌کننده) است. این ضریب دلالت بر برازش بهتر دارد. در مثال زیر هر دو مدل برازش خوبی بر داده‌ها دارند، اما مقادیر r^2 نشان می‌دهد که مدل معادلهٔ درجه دوم برازش بهتری دارد.

1 - Least Square fitting
2- Excel
3 - Matlab
4 - Regression analysis
5 - Coefficient of determination



شکل(۶): برازش دو معادلهٔ متفاوت (خطی و درجه دو) بر یک مجموعه داده و بررسی دقت برازش معادلات بر آن‌ها

در ادامه روش رسم نمودار در نرم‌افزار اکسل توضیح داده می‌شود.

۲-۱۴- راهنمای رسم گراف به کمک نرم‌افزار اکسل

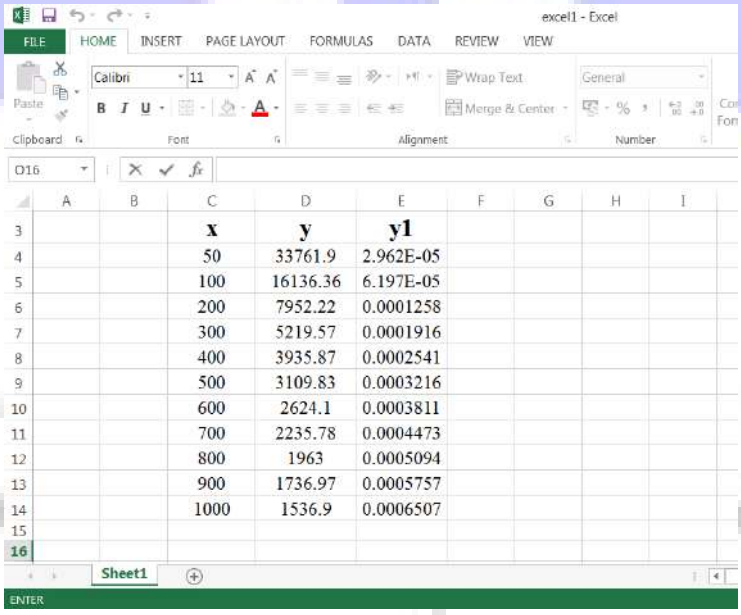
همان‌گونه‌که ذکر شد، نرم افزار اکسل از جمله نرم افزارهایی است که به کمک آن می‌توانید محاسبات مورد نیاز و از همه مهم‌تر رسم نمودارهای مربوط به آزمایشات خود را انجام دهید. در ادامه به اختصار روش رسم نمودار در این نرم افزار توضیح داده می‌شود. اگر داده‌های یک آزمایش در اختیار باشند، برای رسم نمودار کافی است مقادیر x و y مربوط به آزمایش را در دو ستون مجزا در خانه‌های یک صفحهٔ کاری[1] اکسل وارد می‌کنید. برای بررسی روش کار در نرم‌افزار اکسل از داده‌های مربوط به رابطهٔ مقاومت خازنی با فرکانس تولیدکننده سیگنال سینوسی استفاده می‌شود، که داده‌های مرتبط با آن در جدول(۴) ارائه شده‌است.

1 - Sheet

جدول(۴): داده‌های مرتبط با بررسی رفتار مقاومت خازنی با تغییر فرکانس

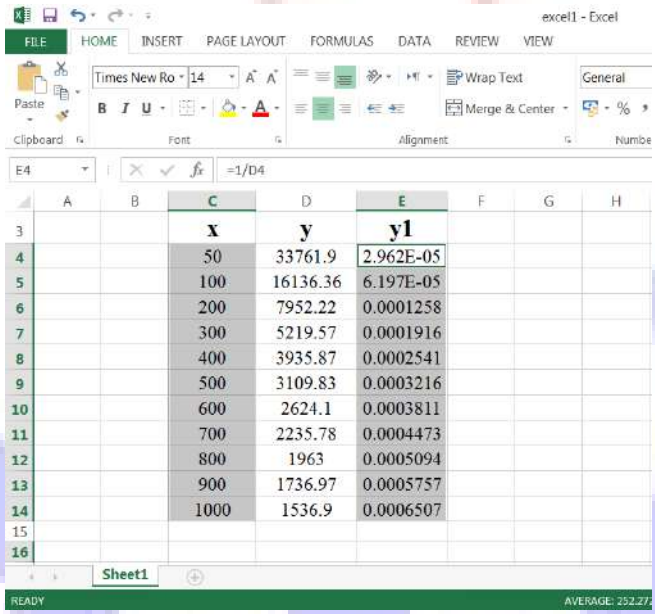
$f\ (Hz)$	$X_C\ (\Omega)$
۵۰	۳۳۷۶۱٫۹۰
۱۰۰	۱۶۱۳۶٫۳۶
۲۰۰	۷۹۵۲٫۲۲
۳۰۰	۵۲۱۹٫۵۷
۴۰۰	۳۹۳۵٫۸۷
۵۰۰	۳۱۰۹٫۸۳
۶۰۰	۲۶۲۴٫۱۰
۷۰۰	۲۲۳۵٫۷۸
۸۰۰	۱۹۶۳٫۰۰
۹۰۰	۱۷۳۶٫۹۷
۱۰۰۰	۱۵۳۶٫۹۰

با توجه به این‌که رابطه فرکانس با مقاومت خازنی غیرخطی بوده و مقاومت خازنی متغیر وابسته و فرکانس متغیر مستقل است، نیاز به خطی نمودن نمودار است. در ستون سوم این خطی‌سازی صورت گرفته و $\frac{1}{X_C}$ در آن محاسبه شده‌است.



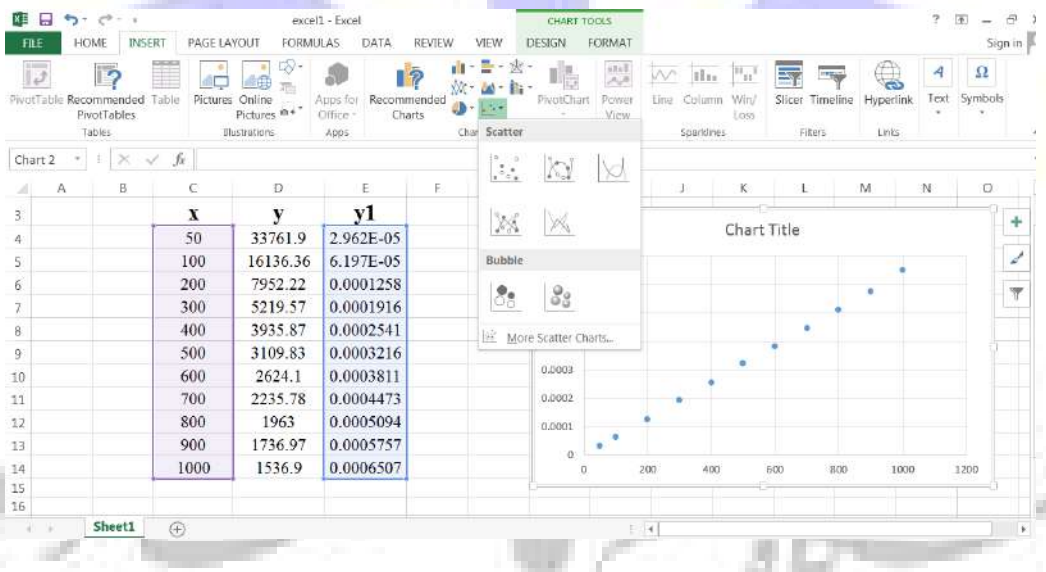
شکل(۷): وارد کردن داده‌ها در صفحه اکسل

سپس هر دو ستون داده‌ها را (x, y_1) مطابق شکل(۸) انتخاب می‌کنید.



شکل(۸): انتخاب داده‌ها در صفحه اکسل

حال از منوی بالای صفحه *Insert* را انتخاب نموده و سپس از زیر منوی *Charts* بر روی گزینهٔ *Scatter* کلیک کرده و اولین حالت را انتخاب کنید[۱].

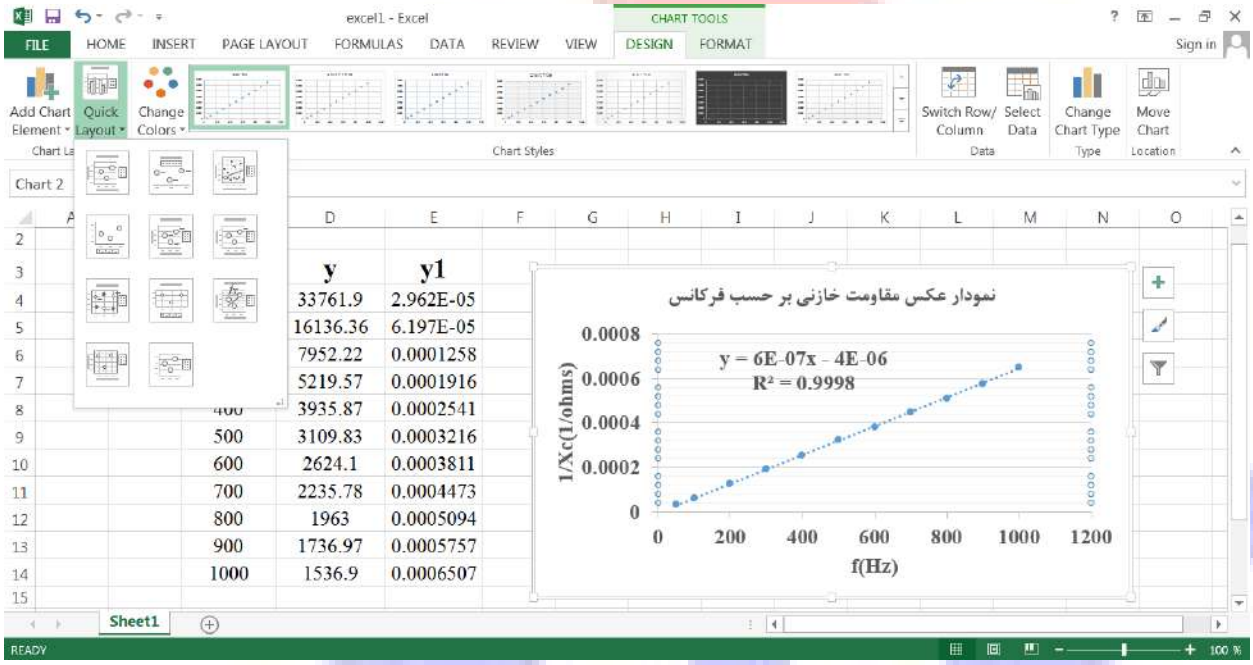


شکل (۹): انتخاب کردن نحوه رسم داده‌ها در صفحه اکسل

۱- لازم به ذکر است که وابسته به نسخه نرم‌افزار اکسل ممکن است اندکی محل قرار گیری آیکون‌ها متفاوت باشد.

مطابق شکل فوق یک نمودار از نقاط گسسته ظاهر خواهد شد که بیانگر داده‌ها (x, y_1) است.

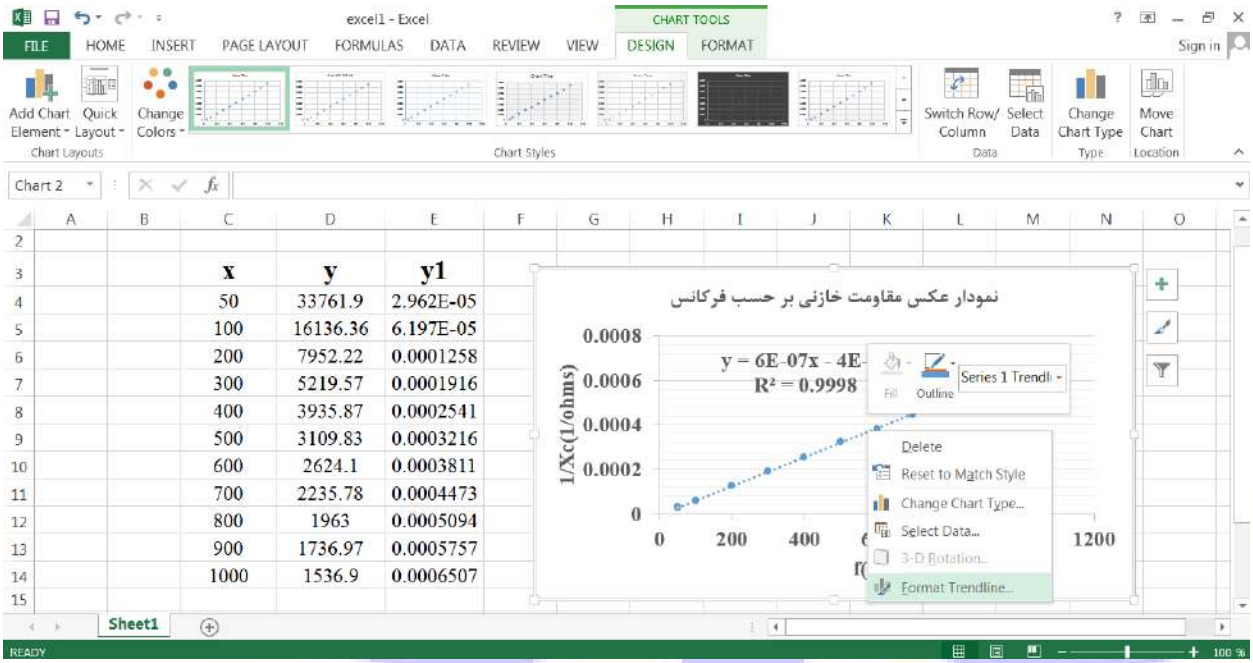
- با کلیک بر روی آیکون *Chart Tools* بخش *Design* می‌توانید بر روی بخش *Quick Layout* کلیک نموده و گزینه مناسب را انتخاب نمایید. گزینه مناسب گزینه‌ای است که اطلاعات کامل را بر روی نمودار ارائه دهد. باید بتوانید عنوان محورها را مشخص نموده و اطلاعات مربوط به عنوان گراف و آن‌چه در بخش آماده‌سازی گزارش کار آمده‌است را وارد کنید.



شکل(۱۰): انتخاب نوع مناسب *Layout* در نمودار رسم‌شده توسط نرم‌افزار اکسل

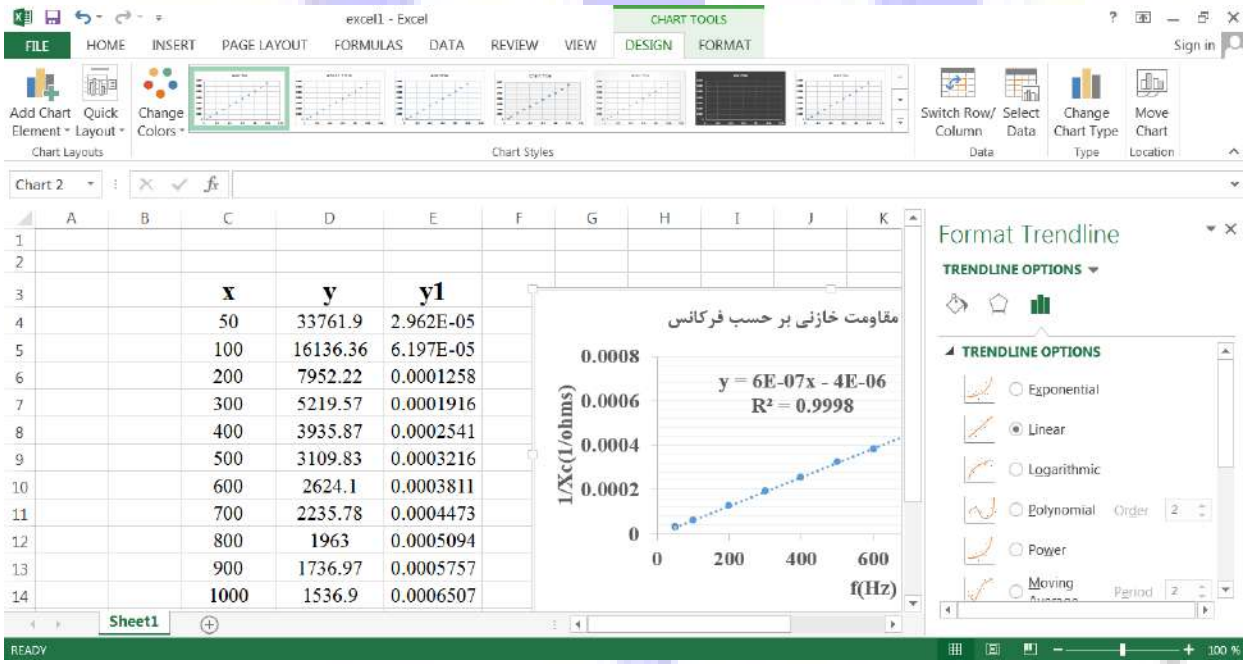
- در نرم‌افزارهای نسخه جدید شما می‌توانید پس از کلیک بر روی نمودار و انتخاب گزینه *Trendline Format* نوع منحنی‌ای که می‌خواهید بر داده‌های خود تطبیق دهید مشخص کنید. شکل(۱۱- الف) مرحله انتخاب گزینه *Trendline Format* و شکل(۱۱-ب) و شکل(۱۱-ج) برخی از گزینه‌های موجود را نشان می‌دهد. در این بخش شما می‌توانید انتخاب کنید که آیا می‌خواهید اطلاعاتی همچون معادله منحنی تطبیق یافته را بر روی شکل داشته باشید یا خیر؟

دانشگاه علم و صنعت ایران



	x	y	y1
4	50	33761.9	2.962E-05
5	100	16136.36	6.197E-05
6	200	7952.22	0.0001258
7	300	5219.57	0.0001916
8	400	3935.87	0.0002541
9	500	3109.83	0.0003216
10	600	2624.1	0.0003811
11	700	2235.78	0.0004473
12	800	1963	0.0005094
13	900	1736.97	0.0005757
14	1000	1536.9	0.0006507

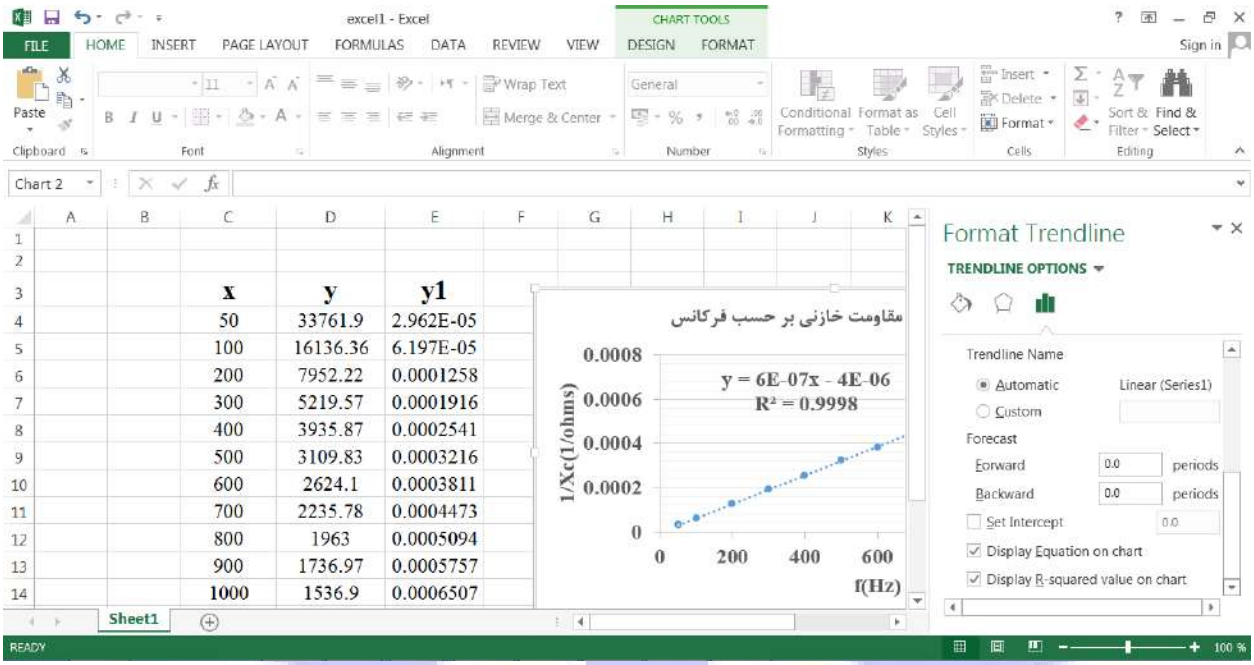
(الف)



	x	y	y1
4	50	33761.9	2.962E-05
5	100	16136.36	6.197E-05
6	200	7952.22	0.0001258
7	300	5219.57	0.0001916
8	400	3935.87	0.0002541
9	500	3109.83	0.0003216
10	600	2624.1	0.0003811
11	700	2235.78	0.0004473
12	800	1963	0.0005094
13	900	1736.97	0.0005757
14	1000	1536.9	0.0006507

(ب)

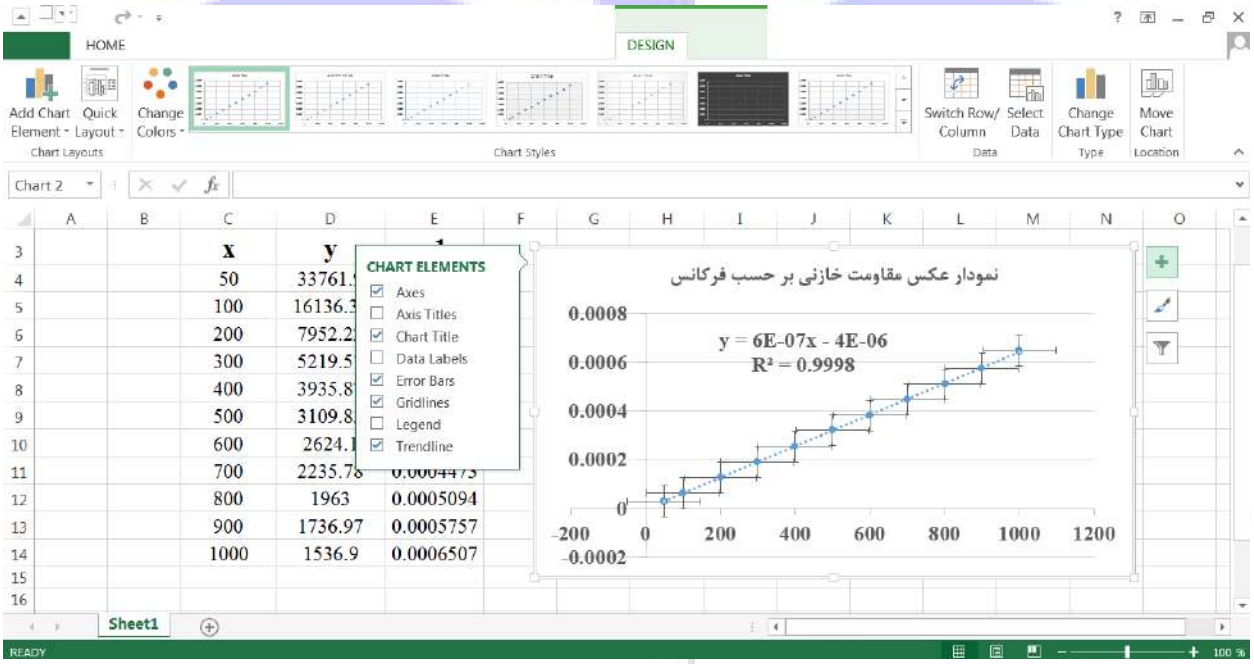
دانشگاه علم و صنعت ایران



(ج)

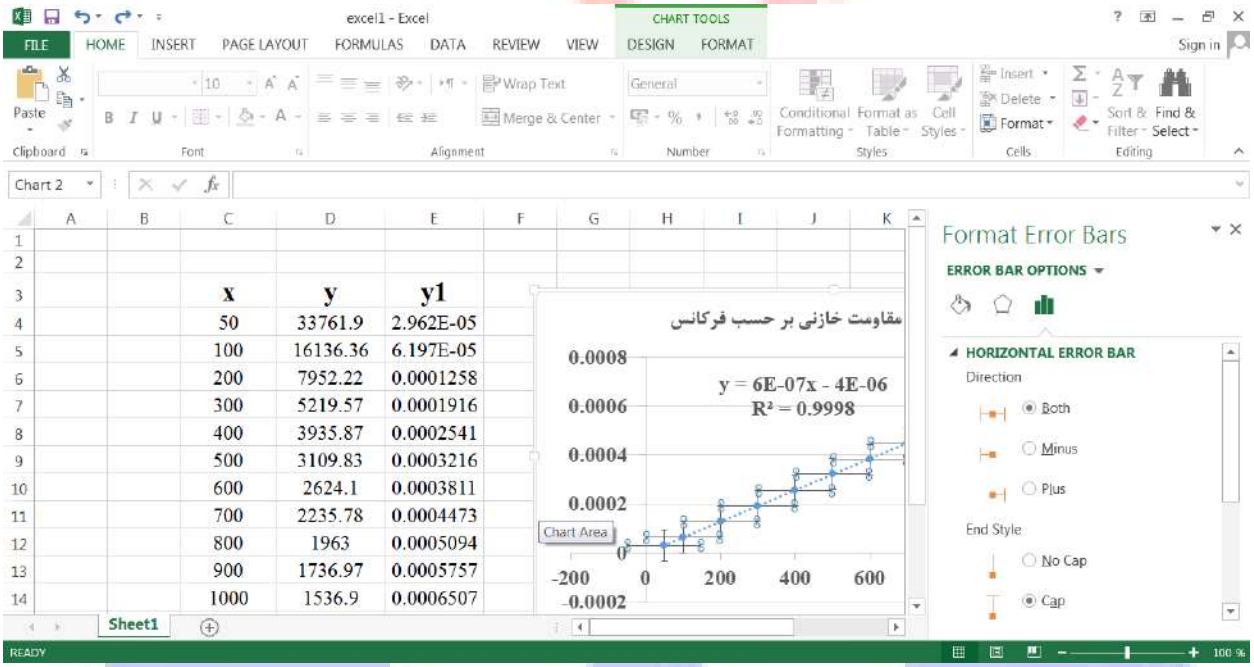
شکل(۱۱): روش انتخاب نوع خط تطبیق یافته بر داده‌های آزمایش

با فشردن علامت + در کنار چارت می‌توانید گزینه‌هایی همچون اضافه نمودن *Error Bars* را نیز وارد نمایید(شکل(۱۲)).



شکل(۱۲): نحوهٔ نمایش *Error Bars* بر روی نمودار

با انتخاب گزینه *Error Bar Options* می‌توانید اطلاعات راستای x و y را به صورت جداگانه وارد نمایید(شکل(۱۳)).



شکل(۱۳): معرفی آیکون *Error Bar Options* و عملکرد آن

شیب‌خط برابر $6\times10^{-7}\ \mu F$ است، که ظرفیت خازن برابر ۰٫۰۹۵ میکروفاراد محاسبه خواهد شد. که بر داده‌های تئوری تطبیق دارد.

۳- توصیفی کوتاه در مورد ابزارهای و قطعات مورد استفاده در آزمایشگاه الکترونیک

در آزمایشگاه الکترونیک از سه دسته قطعات الکترونیکی، منابع تغذیه و وسایل اندازه‌گیری استفاده می‌شود. قطعات الکترونیکی از جمله مقاومت، سلف، خازن، دیود و ... برای تشکیل مدارات الکترونیکی طبق رفتارهای فیزیکی خود انتخاب می‌شوند. منابع تغذیه، منبع جریان مستقیم[۱]، منبع جریان متناوب[۲]، منبع تولید سیگنال با شکل‌موج‌های مختلف (فانکشن ژنراتور[۳]) و ... هستند. از وسایل اندازه‌گیری می‌توان به مولتی‌متر و اسیلوسکوپ اشاره نمود. در ادامه در ابتدا قطعات الکترونیکی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پس از آن اطلاعاتی در مورد میز الکترونیکی آزمایشگاه ارائه می‌شود. در این بخش اطلاعاتی در مورد منابع تغذیه اعم از آن‌که روی میز جای

1 - Direct Current(DC) Source
2 - Alternative Current(AC) source
3 - Function Generator

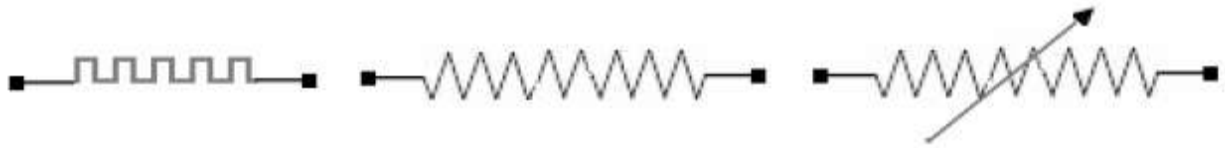
گرفته باشند یا به‌صورت قابل حمل[1] باشد، توضیحاتی ارائه می‌شود. و در نهایت وسایل اندازه‌گیری موجود بر روی میز یا قابل حمل معرفی می‌شوند.

۳-۱- آشنایی با انواع قطعات الکترونیکی

قطعات الکترونیکی که در در آزمایشگاه الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند، مقاومت‌ها، خازن‌ها، سلف‌ها، دیودها و ترانزیستورها هستند. در ادامه این قطعات معرفی می‌شوند.

۳-۱-۱- مقاومت

مقاومت‌ها از اصلی‌ترین اجزایی هستند که در وسایل الکتریکی به‌کار می‌روند. مقاومت یک رسانا در برابر عبور جریان الکتریکی را مقاومت الکتریکی گویند. واحد مقاومت اهم است و با نماد $R\left(\Omega\right)$ نشان داده می‌شود. عبور جریان الکتریکی از هادی‌ها از بسیاری جهات شبیه عبور گاز از یک لوله است. اتم‌های تشکیل‌دهنده سیم هادی در مقابل عبور الکترون‌ها از آن‌ها مقاومت نشان می‌دهند. همانطورکه الیاف پشم فلزی مانع عبور مولکول‌های گاز می‌شوند. شکل مقاومت در مدارهای الکتریکی به‌صورت زیر است:

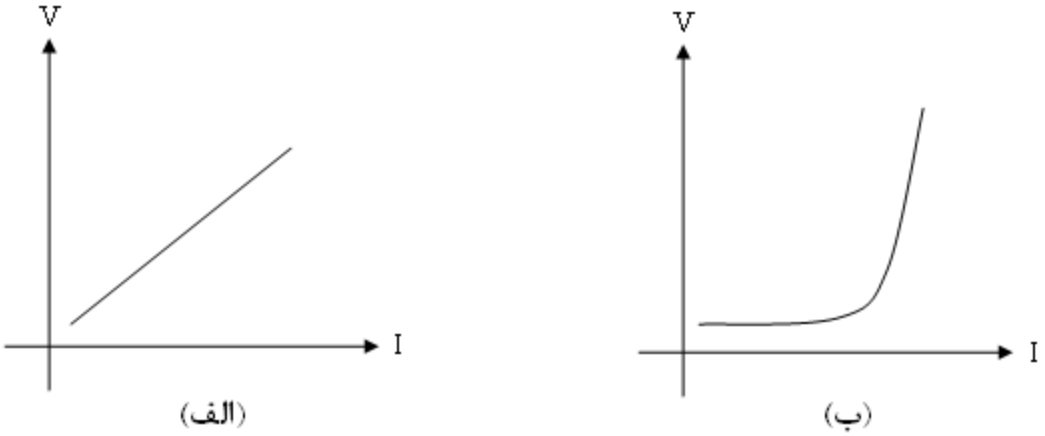


شکل (۱۴): شماتیک مقاومت الکتریکی در مدارها

مقاومت را به‌منظور کاهش دادن جریان به مقدار معین و یا افت مقدار معینی از ولتاژ به‌کار می‌رود. مقاومت‌ها وابسته به رفتار جریان برحسب ولتاژ اعمالی به دو دسته اهمی و غیراهمی تقسیم می‌شوند. در ادامه به اختصار توضیحاتی در مورد مقاومت اهمی ارائه می‌شود.

مقاومت اهمی به مقاومتی گفته می‌شود که نسبت ولتاژ اعمال شده به جریان گرفته شده از آن یک مقدار ثابت باشد. به‌عبارت دیگر نمودار تغییرات ولتاژ به جریان این مقاومت خطی باشد و از رابطه اهم $R\left(\Omega\right)=\frac{V\left(V\right)}{I\left(A\right)}$ پیروی کند.

1 - Portable



شکل (۱۵): نمودار *V-I* برای مقاومت اهمی(الف) و غیراهمی(ب)

مقاومت‌های اهمی برای اضافه کردن مقاومت مدارهای الکتریکی به‌منظور کاهش جریان به‌مقدار معین و یا افت مقدار معینی از ولتاژ به‌کار می‌روند. در حقیقت، آنها اجسامی هستند که در مقابل عبور جریان مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند. موادی که غالباً در مقاومت‌ها به‌کار می‌روند عبارتند از کربن، آلیاژ مخصوص از فلزاتی از قبیل نیکروم[1]، کنستانتن و منگانین[2]. مقاومت اهمی را طوری به مدار می‌بندند که جریان همان‌طورکه از بار الکتریکی و منبع ولتاژ عبور می‌کند، از آن هم بگذرد. در این صورت مقاومت کل مدار مجموع مقاومت‌های بار الکتریکی، منبع ولتاژ، سیم‌های رابط و مقاومت اهمی است. توجه داشته باشید که فقط با اضافه کردن یک مقاومت اهمی مناسب به مدار می‌توان مقاومت کل مدار را به‌اندازه‌ی دلخواه تغییر داد.

موارد استفاده از مقاومت اهمی در مدارهای الکتریکی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

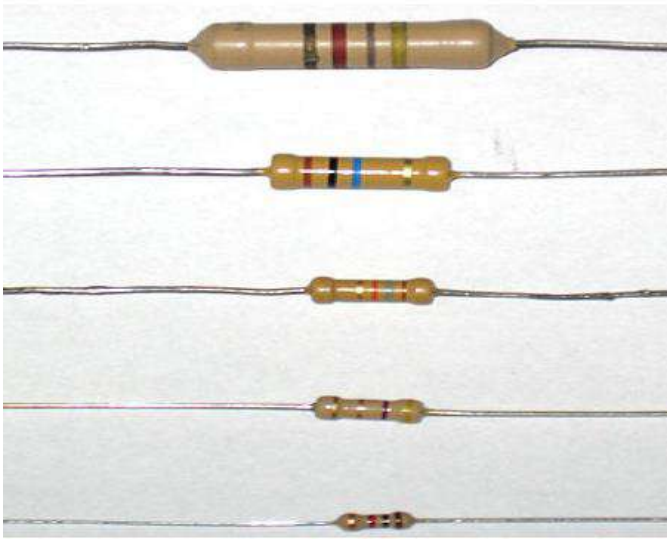
۱. محدود کردن جریان (کنترل جریان) و تقسیم ولتاژ در نقاط مختلف مدار.
۲. ایجاد حرارت.
۳. تطبیق و همسنگ نمودن مقاومت ورودی و خروجی در مدارهای الکترونیکی.
۴. تطابق ولتاژ بین دو طبقه در تقویت‌کننده‌ها.
۵. تعیین پهنای باند و فرکانس قطع در تقویت‌کننده ها، فیلترها و موارد مشابه.

طبقه‌بندی مقاومت‌های اهمی از نظر نوع عملکرد به دو دسته مقاومت ثابت و متغیر است.

1- Nichrome
2- Manganin

الف) مقاومت‌های ثابت

مقاومت‌هایی هستند که مقدار آن‌ها ثابت بوده و تابع عواملی چون گرما، فرکانس، میدان مغناطیسی، نور، رطوب و... نیستند. مقاومت‌های ثابت دو سیم رابط دارند که به دو انتهای مقاومت متصل است. مقاومت‌های رنگی، سرامیکی و آجری از این قبیل‌اند. از مقاومتهای رنگی در جریان‌های پایین و از مقاومتهای آجری یا سرامیکی در جریان‌های بالا استفاده می‌شود.



شکل (۱۶): چند نمونه مقاومت رنگی

مشخصه‌های یک مقاومت ثابت عبارتند از:

- **مقدار اهم مقاومت:** مقدار اهم یا روی مقاومت نوشته شده و یا به‌صورت نوارهای رنگی مشخص شده‌است.
- **خطا یا تلرانس**[1] : بازه تغییرات مقدار مقاومت که اغلب می‌بایست توسط شرکت‌های سازنده ذکر شود.
- **تحمل حرارتی:** به بیشترین دمایی که مقاومت‌های غیر سیمی در حین کار می‌توانند تحمل کند قبل از آنکه تغییر ماهیت بدهند، تحمل حرارتی گویند و در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد است.
- **توان مصرفی ماکزیمم:** بیشترین توانی که مقاومت می‌تواند در مقابل عبور جریان و تحمل ولتاژ از خود نشان دهد، قبل از آنکه بسوزد.

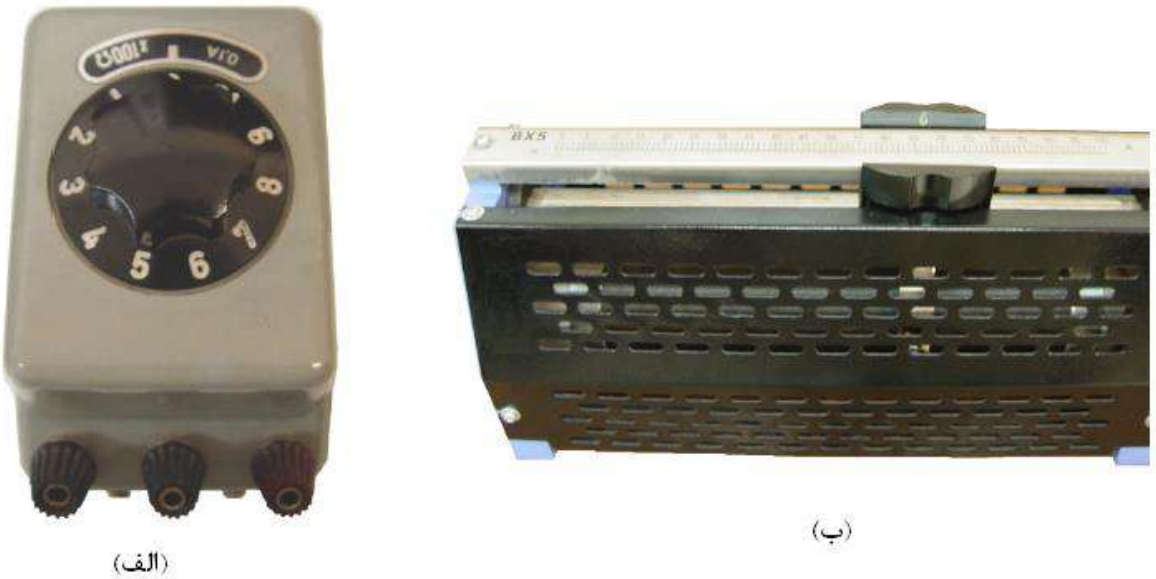
1 - Tolerance

- **افت ولتاژ *DC* بیشینه:** در مقاومت‌های با اهم بالا، بیشترین افت ولتاژ *DC* مجاز از مهم‌ترین عوامل مربوط به مقاومت محسوب می‌شود.
- **بیشینه بسامد کار:** به بیشترین فرکانسی که مقاومت می‌تواند در هنگام کار با منبع تغذیه متناوب تحمل کند، قبل از آنکه ساختار مقاومتی آن فرو بریزد و خواص غیر از مقاومت به خود بگیرد، بیشینه بسامد کار مقاومت گویند.

ب) مقاومت‌های متغیر:

در بسیاری از وسایل الکتریکی مقدار بعضی از مقاومت‌ها باید پیوسته تغییر کند. پیچ ولوم رادیو، کنترل‌کننده روشنایی تلویزیون از آن جمله‌اند. مقاومت‌های متغیر مقاومت‌هایی هستند که پیوسته می‌توان مقدار آنها را تغییر داد. دو گونه مختلف از مقاومت‌های متغیر وجود دارند:

گونه اول را می‌توان با تغییر مکان یا تغییر زاویه‌ی محور متحرک آن تنظیم کرد. در این حالت مقاومت متغیر می‌تواند دارای سه ترمینال باشد که دو تای آن‌ها نسبت به هم ثابت است و تابع گردش محور نیست. مقدار این مقاومت روی بدنه مقاومت متغیر، نوشته می‌شود. مقاومت‌های سلکتوری و رئوستا از این گونه‌اند.



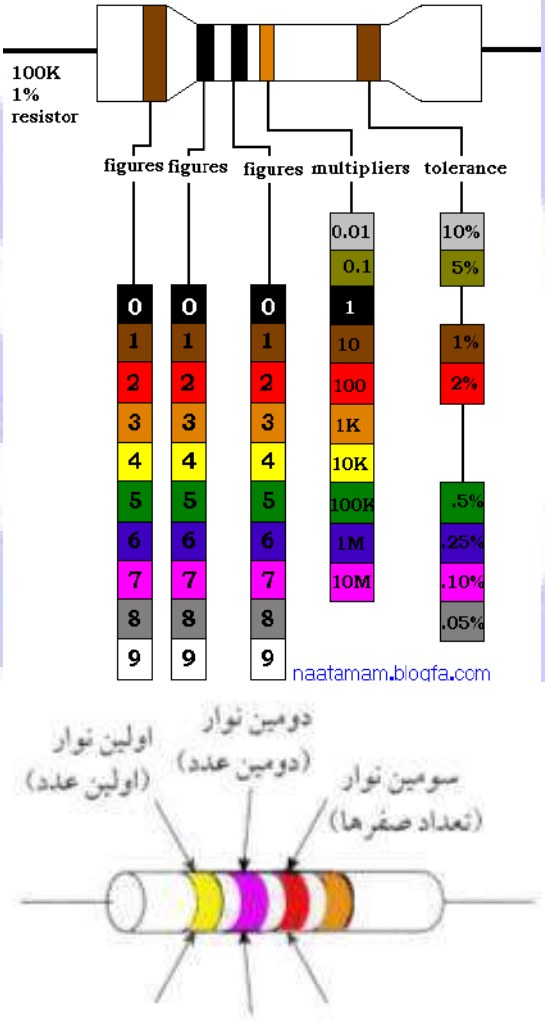
(ب)

(الف)

شکل (۱۷): چند نمونه مقاومت متغیر. رئوستا(الف) و مقاومت سلکتوری(ب)

رئوستا گونه‌ای از مقاوم‌های متغیر هستند که از خانواده پتانسیومترهای خطی و دارای سه ترمینال می باشند. جنس رئوستاها برخلاف پتانسیومترها از سیم بوده و به‌این خاطر از توان بالاتری نسبت به مقاومت‌های متغیر کربنی برخوردارند. نحوهٔ تعیین مقدار مقاومت‌ها از روی کد رنگی به‌شرح زیر است:

رنگ اولین نوار نشان‌دهنده اولین عدد صحیح مقدار مقاومت است و رنگ دومین نوار نشان‌دهنده دومین عدد صحیح مقدار مقاومت است. رنگ سومین نوار نشان‌دهنده ضریب مقاومت است. رنگ نوار چهارم حدود خطا (تلرانس) را معین می‌کند. در جدول(۵) معنای این کدهای رنگی ارائه شده‌است.



شکل(۱۸): طریقه خواندن مقدار مقاومت‌های رنگی

جدول(۵): ضرایب نوارهای رنگی در مقاومت‌ها

رنگ	عدد صحیح	مضرب	تلرانس
سیاه	۰	۱	–
قهوه ای	۱	۱۰	–
قرمز	۲	۱۰۰	–
نارنجی	۳	۱۰۰۰	–
زرد	۴	۱۰۰۰۰	–
سبز	۵	۱۰۰۰۰۰	–
آبی	۶	۱۰۰۰۰۰۰	–
بنفش	۷	۱۰۰۰۰۰۰۰	–
خاکستری	۸	۱۰۰۰۰۰۰۰۰	–
سفید	۹	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰	–
طلائی	–	–	٪۵
نقره ای	–	٪۱۰	
بی رنگ	–	–	٪۲۰

۳-۱-۲- خازن

خازن، قطعه الکتریکی است که انرژی الکتریکی باطری را در خود ذخیره می‌کند. هنگامی‌که یک عایق در میان دو هادی قرار می‌گیرد خازن به وجود می‌آید. خازن‌های آزمایشگاه عموماً مسطح هستند. اگر اختلاف پتانسیل به این دو صفحه وصل شود، مقداری بار روی صفحات ذخیره می‌شود. ساختمان خازن از دو قسمت عمده تشکیل شده‌است:

۱. صفحات هادی: که به آن جوشن نیز می‌گویند. معمولاً ورق‌های نازک از جنس آلومینیوم، روی یا نقره ساخته می‌شوند.
۲. عایق بین صفحات هادی: که به آن دی‌الکتریک نیز گفته می‌شود. معمولاً خازن‌ها از نظر نوع دی‌الکتریک به‌کار رفته در ساختمان آنها نام‌گذاری و تقسیم‌بندی می‌شوند.

همچنین بر اساس نوع و شکل قرار گرفتن صفحات رسانا در مقابل یکدیگر می‌توان خازن‌های گوناگونی را ساخت. از قبیل خازن‌های تخت (دو صفحه رسانای تخت)، خازن‌های استوانه‌ای (دو پوسته استوانه‌ای هم مرکز) و خازن‌های کروی (دو صفحه کروی رسانا).

❖ مشخصات یک خازن

از مهمترین مشخصات یک خازن ظرفیت و بیشینه ولتاژ کار آن است. در انتخاب یک خازن باید عوامل زیر را در نظر گرفت:

۱- **ظرفیت لازم:** مقدار باری را که به ازاء اختلاف پتانسیلی به میزان یک ولت روی صفحات ذخیره می‌شود را ظرفیت می‌گویند و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C\,(F)=\frac{Q\,(q)}{V\,(V)} \qquad (۱۴)$$

مقدار ظرفیت خازن فقط به مشخصات فیزیکی از قبیل اندازه و فاصله صفحات و جنس دی‌الکتریک وابسته بوده و بر حسب فاراد (F) بیان می‌شود.

۲- **ولتاژ کار بیشینه:** این ولتاژ که معمولاً روی بدنه خازن به‌همراه ظرفیت خازن نوشته می‌شود، ولتاژی است که به دو سر خازن اعمال می‌شود بدون اینکه دی‌الکتریک میان صفحات یونیزه شود و به‌طوری‌که خازن بتواند در شرایط عادی کار کند. مقدار آن به فاصله صفحات و جنس دی‌الکتریک وابسته است.

۳- **ضریب حرارتی:** وابستگی ظرفیت خازن به حرارت را ضریب حرارتی خازن می‌گویند.

۴- **میزان خطا و تلفات:** ضریب تلفات خازن به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$D=\frac{1}{2\pi VCR} \qquad (۱۵)$$

که در آن C ظرفیت خازن، R مقاومت اهمی صفحات خازن و V فرکانس منبع تغذیه هستند.

۵- **فرکانس کار بیشینه:** خازن در مدارهای متناوب از خود مقاومت ظاهری‌ای نشان می‌دهد که این مقاومت ظاهری با فرکانس رابطه عکس دارد:

$$X_C=\frac{1}{2\pi fC} \qquad (۱۶)$$

در نتیجه تا جایی که با افزایش فرکانس این امپدانس روند کاهشی داشته باشد خازن درست کار می‌کند ولی از یک فرکانس مشخص به بالا تغییر خاصیت می‌دهد، به این حد فرکانسی، حداکثر فرکانس کار خازن می‌گویند.

حال سوال مهم آن است که چگونه ظرفیت یک خازن را از روی اطلاعات ثبت شده روی آن به‌دست آورید. امروزه سازندگان مختلف، روی خازن‌های ساخته شده ظرفیت آن را می‌نویسند و فقط روی بعضی از خازن‌ها مثل خازن عدسی، به‌جای نوشتن مستقیم ظرفیت یک عدد سه رقمی را ذکر می‌کنند. که اگر دو رقم اول را در کنار هم بنویسید و به مقدار عدد سوم (عدد سمت راست) در جلوی آن، صفر قرار دهید، عدد بدست آمده ظرفیت خازن بر حسب پیکو فاراد (PF) می‌باشد. به‌عنوان مثال اگر بر روی خازنی عدد ۶۲۳ نوشته شده باشد ظرفیت آن برابر است با:

$$C = 62000 \text{ PF} \qquad (۱۷)$$

چنان‌چه روی بعضی از خازن‌ها نوارهای رنگی کشیده شده‌باشد، می‌توانید از روش خواندن مقاومت‌های رنگی استفاده نمایید. ولی عدد حاصل برحسب پیکو فاراد خوانده می‌شود (که این روش جهت کدگذاری خازن‌ها دیگر رایج نیست.). شکل(۱۹) تصاویری از خازن‌های مختلف را نشان می‌دهد.

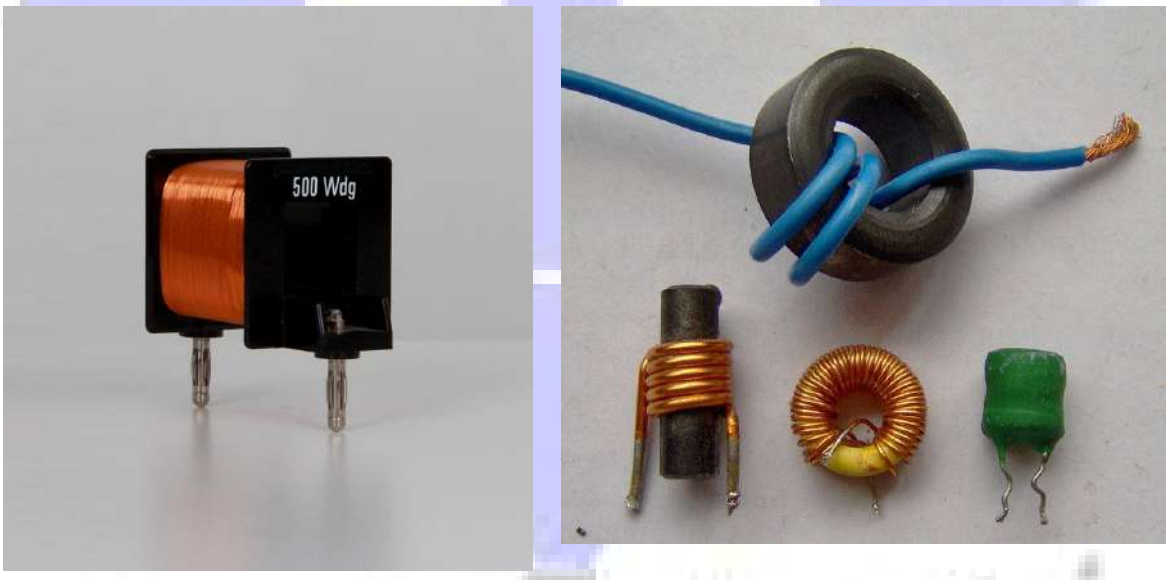
شکل(۱۹): تصاویری از چند خازن

۳-۱-۳- سلف

سلف افزاره‌ای الکترونیکی، کنش‌پذیری(مهندسی) (پسیو) و دو پایه است که به آن سیم‌پیچ یا القاگر نیز می‌گویند. عملکرد اصلی القاگر، مقاومت در برابر تغییرات جریان الکتریکی است. این افزاره معمولاً از رسانایی مانند یک سیم که بصورت سیم‌پیچ درآمده‌است و به دُور هسته‌ای از جنس آهن یا کربن خاص به نام «فِریت» پیچیده‌شده تشکیل می‌شود.

هنگامی‌که جریانی از سلف بگذرد، یک میدان مغناطیسی درون آن ایجاد می‌شود و انرژی به‌طور موقت در این میدان مغناطیسی ذخیره می‌شود. وقتی شدّت جریان الکتریکی تغییر کند، میدان مغناطیسی متغیّر با زمان، ولتاژی را در رسانا القا می‌کند و براساس قانون القای الکترومغناطیسی فارادِی، این ولتاژ مانع از تغییر جریانی می‌شود که در سیم‌پیچ قرار داشت. مشخّصه اصلی سلف، «ضریب خودالقایی» است که یکای آن هانْرِی است و با (H) نمایش داده می‌شود. اکثر سلف‌ها هسته‌ای آهنربایی، ساخته‌شده از آهن یا فِریت دارند که سیم‌پیچ به دُور آنها بسته می‌شود و باعث افزایش میدان مغناطیسی و ضریب خودالقایی می‌شوند.

همراه مقاومت‌ها و خازن‌ها، سلف‌ها یکی از سه عنصر خطّی و غیر فعّال تشکیل‌دهنده مدارات الکترونیکی هستند. از سلف‌ها به‌طور گسترده در تجهیزاتی که با برق متناوب (AC) کار می‌کنند، استفاده می‌شود. نمونه دیگری از کاربردهای سلف در تجهیزات رادیویی می‌باشد. از سلف‌ها برای جلوگیری از جریان متناوب نیز استفاده می‌شود؛ زیرا سلف، جریان مستقیم (DC) را می‌گذراند امّا مانع از گذر جریان متناوب می‌شود. از دیگرکاربردهای سلف می‌توان به استفاده از آن‌ها در پالایه‌های الکترونیکی به جهت جداسازی سیگنال‌ها از بسامدهای گوناگون و در مدارهای تنظیم گیرنده‌های رادیو و تلویزیون نام برد. شکل(۲۰) تصاویری از چند سلف را نشان می‌دهد.



شکل(۲۰): تصاویری از چند سلف مختلف

عمل **القای الکتریکی** نتیجه پدید آمدن میدان مغناطیسی، پیرامون سیمی است که جریان الکتریکی از آن می‌گذرد. جریان گذری از سیم شار مغناطیسی متناسب با جریان پدید می‌آورد. بنابراین، هرتغییری در این

جریان، ولتاژی می‌سازد که با تغییر جریان مخالفت می‌کند و مانع این امر می‌شود. این ولتاژ که با یکای «ولت» سنجیده می‌شود به‌صورت حاصل ضرب القاوَری القاگر در مشتقّ جریان نسبت به زمان محاسبه می‌شود.

$$V = L\frac{di}{dt} \qquad (۲۰)$$

در این رابطه جریان(i) برحسب آمپر و القاوَری (L) برحسب «هانْری» محاسبه می‌شود. القاوَری یک ویژگی هندسی مدار است که مشخّص می‌کند با گذر شدّت جریانی معیّن از سیم‌پیچ، چه‌مقدار شار مغناطیسی ایجاد می‌شود. هرسیم یا مادّه رسانایی، هنگامی که جریان الکتریکی از درونش می‌گذرد، تولید میدان مغناطیسی می‌کند؛ امّا در ساخت القاگرها از شکل‌ها و هسته‌های گوناگون استفاده می‌شود تا میدان مغناطیسی ساخته‌شده را تقویت کنند. پیچیدن سیم باعث افزایش عدّه خط‌های شار مغناطیسی می‌شود که به مدار متّصل‌اند و باعث افزایش القاوَری می‌شود. هرچه عدّه دُورهای سیم‌پیچ بیشتر باشد، خاصیّت مغناطیسی نیز بالا می‌رود. راه دیگر، افزایش القاوَری در القاگر، گزینش هسته مناسب است؛ برای مثال، استفاده از مادّه‌های فِرومغناطیس مانند آهن و پیچیدن سیم به دُور آنها باعث افزایش چشمگیر خط‌های شار مغناطیسی می‌شود. گزینش هسته‌ای با تراوایی مغناطیسی، بالا باعث چندهزار برابر شدن خاصیّت القاگری القاگر می‌شود.

در بحث نگره مدارهای الکترونیکی معمولاً برای همه افزاره‌ها یک مُدل آرمانی لحاظ می‌شود. در مُدل القاگر آرمانی، پیروی دقیق رفتار القاگر از معادله (۲۰) مفروض است. القاگر آرمانی، هیچگونه مقاومت الکتریکی و اثر خازنی ندارد و کارمایه را تلف نمی‌کند.

از سوی دیگر، القاگر واقعی تأثیرهای جانبی می‌پذیرد که باعث تغییر رفتارش می‌شوند و از مُدل القاگر آرمانی فاصله می‌گیرد. القاگر واقعی، دارای مقاومت داخلی درون سیم‌پیچ، اثر خازنی به‌دلیل تشکیل میدان میان سیم‌پیچ و اتلاف کارمایه به‌صورت گرما است. در بسامدهای بالا این اثر خازنی تأثیر شدیدی بر رفتار القاگر می‌گذارد و در برخی بسامدها حتّی می‌تواند عملکرد القاگر را به یک تشدیدگر تبدیل کند.

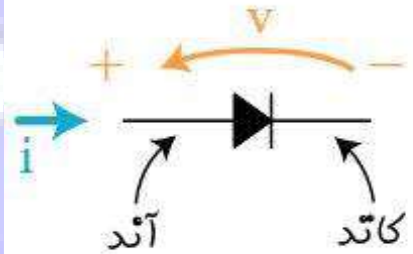
از القاگرها به‌طور گسترده در مدارهای آنالوگ و پردازش سیگنال استفاده می‌شود. از ترکیب القاگرها با خازن‌ها و دیگرافزاره‌های الکترونیک می‌توان پالایه برای سیگنال‌ها با بسامدهایی خاص ساخت. گستره کاربرد این افزاره از مدارهای منبع‌های تغذیه با القاگرهایی با اندازه بزرگ برای جلوگیری از نوسان‌های جریان ورودی، تا القاگرهایی با جثّه بسیار کوچک (فِرّیت بید) که پیرامون بافه‌های انتقال بسامدهای رادیویی قرار می‌گیرند تا از ادغام آنها با یکدیگر جلوگیری کنند، متغیّر است. از القاگرهای کوچک‌تر نیز به‌طور فراوان در دستگاه‌های دریافت و ارسال انواع سیگنال‌ها استفاده می‌شود.

با ترکیب دو یا چند سیم‌پیچ می‌توان وسیله‌ای به نام ترانسفورماتور ساخت که عضوی بنیادی در تمامی مدارهای تغذیه، انواع شارژکُن‌ها و مدارهای مبدّل ولتاژ است. با استفاده از ترکیب خطهای شار مغناطیسی میان دو سیم‌پیچی که یکی ثابت و دیگری در حال چرخش است، گشتاور نیرو ایجاد می‌شود که اساس کار موتورهای القایی می‌باشد.

از القاگر در مدارهای تغذیه کلیدزنی به‌عنوان ذخیره‌گرهای کارمایه الکتریکی و واپایش ولتاژ استفاده می‌شود. همچنین القاگر در سامانه‌های انتقال الکتریسیته مانند، کاهنده ولتاژهای حاصل از صاعقه و محدودگر جریان کاربرد دارد. القاگرهایی با مقدار القاوَری بسیار زیاد نیز در شبیه‌سازی مدارهای ژنراتور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۱-۴- دیود[1]

دیود به قطعه‌ای الکترونیکی است که ویژگی اصلی آن، عبور دادن جریان الکتریکی در یک جهت است. این قطعه نیز در کنار خازن، ترانزیستور و مقاومت از اجزاء مهم در یک مدار الکترونیکی محسوب می‌شود. با توجه به این‌که دیود جریان الکتریکی را فقط در یک جهت عبور می‌دهد، بنابراین نماد استفاده‌شده برای آن نیز بایستی بیان‌گر این موضوع باشد. در شکل (۲۱) مسیر جریان عبوری از یک دیود و هم‌چنین نماد استفاده شده برای آن نشان داده شده‌است.

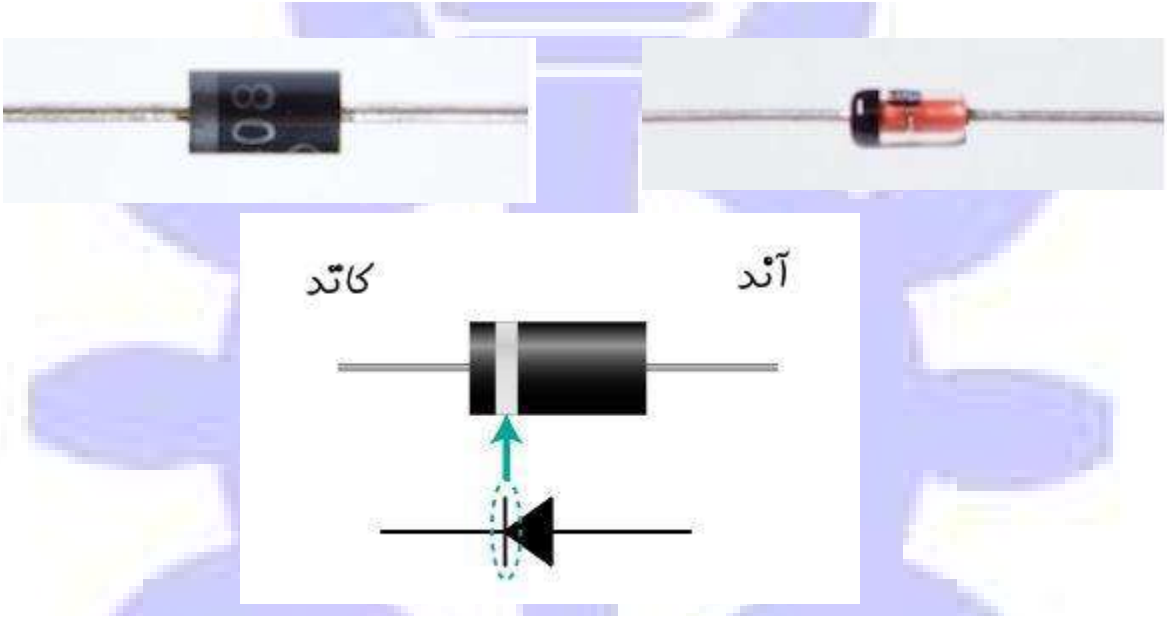


شکل (۲۱): تصویری از نماد دیود

بردار مشکی رنگِ جهت جریان الکتریکیِ i را نشان می‌دهد. جهت مثبت دیود، پایه‌ای است که جریان الکتریکی به آن وارد و جهت منفی دیود، پایه‌ای است که جریان از آن خارج می‌شود. احتمالا شما نیز متوجه مفهوم این نماد شده‌اید. خط عمودی استفاده شده نشان می‌دهد که جریان، اجازه عبور از سمت راست به چپ را ندارد.

1- Diode

با توجه به آن‌چه که در بالا بیان شد، نماد دیود، جهت جریان الکتریکی را به ما نشان می‌دهد. به بخش منفی دیود، «کاتد»[1] و به بخش مثبت آن «آند»[2] گفته می‌شود. در شکل (۲۱) این بخش‌ها نشان داده شده‌اند. این دو بخش ترمینال‌های یک دیود نامیده می‌شوند. دیودها به شکل قطعاتی بسیار کوچک از سیلیکون طراحی و ساخته می‌شوند. راه‌های مختلفی جهت تشخیص پایه‌های یک دیود وجود دارد. معمولا در دیودهای به شکل شیشه یا پلاستیکِ مشکی، بخشی مجزا توسط یک نوار مشخص شده است. نوار مجزا شده، ترمینالِ کاتد دیود را نشان می‌دهد. در شکل (۲۲) دو نمونه از این‌دیودها به نمایش در آمده‌است.

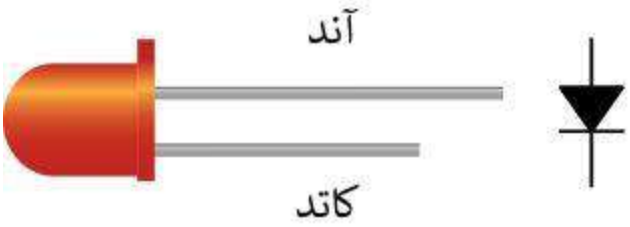


شکل (۲۲): تصاویری از نمونه‌هایی از دیود

درLEDs نیز پایه‌ها با اندازه متفاوت ساخته می‌شوند. جریان از سمت پایه بلندتر به دیود وارد شده و از سمت پایه کوتاه‌تر خارج می‌شود. از این رو پایه بلندتر آند و کوتاه‌تر، کاتد را نشان می‌دهند. شکل (۲۳) طرحواره‌ای از یک LED و ترمینال‌هایش را ترسیم کرده‌است.

دانشگاه علم و صنعت ایران

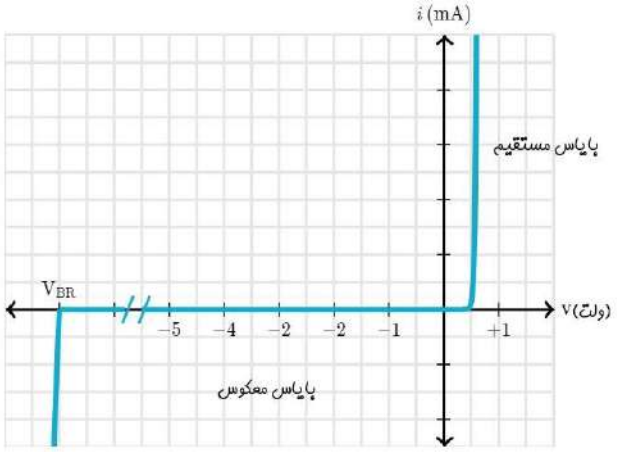
1- Cathod
2 - Anode



شکل (۲۳): طرحواره‌ای از یک LED

وابسته به نوع کاربرد، دیودها را می‌توان به اَشکال گوناگونی در یک مدار قرار داد. در هرکدام از این حالات، جریان برقرار شده در دیود به‌صورت متفاوتی عمل می‌کند.

فرض کنید در دو سر یک دیود سیلیکونی، ولتاژی برابر با ۰٫۲ V اعمال شود. با اعمال این ولتاژ اندک، جریان الکتریکی در دیود برقرار نخواهد شد. هنگامی‌که اندازه ولتاژ تا ۰٫۶ V افزایش یابد، جریان الکتریکی قابل اندازه‌گیری در دیود برقرار خواهد شد. با افزایشِ بیشتر از این مقدار، جریان به‌سرعت در دیود افزایش خواهد یافت. در این نقطه، نمودار I-V تقریباً به‌صورت عمودی خواهد شد. شکل (۲۴) نمودار جریان-ولتاژ برای دیودی سیلیکونی نشان داده شده‌است.



شکل (۲۴): طرحی از نمودار جریان-ولتاژ دیود

با توجه به مفاهیم بالا، هنگامی‌که ولتاژی مثبت دو سر یک دیود اعمال شود، به حالت ایجاد شده، «بایاس مستقیم»[1] گفته می‌شود. در حقیقت زمانی یک دیود بایاس مستقیم است که در تمامی نقاط، ولتاژ در بخش مثبت قرار گرفته باشد. در شرایطی طبیعی، ولتاژ در حالت بایاس مستقیم، بین ۰٫۶ تا ۰٫۷۵ ولت است. اگر ولتاژ اعمال شده، در شرایطی اجباری بیشتر از ۰٫۷۵ ولت شود، جریان الکتریکی بسیار زیاد خواهد شد که منجر به داغ شدن دیود می‌شود.

اگر ولتاژی منفی دو سر دیود اعمال شود، پایه منفی «-» در **پتانسیل** بیشتری نسبت به پایه «+» قرار دارد. در این حالت دیود در حالت عملکردی سمت چپ شکل (۲۴) قرار دارد. به دیود در این حالت، دیود با «بایاس معکوس»[2] گفته می‌شود. در حالت معکوس، اندازه جریان الکتریکی تقریبا نزدیک به صفر و دارای مقداری منفی است.

در مواردی به این جریان، «جریان اشباع معکوس»[3] نیز گفته می‌شود. اندازه این جریان در دیودهای استاندارد بین $I_s = ۱۰^{-۹}$ A تا $I_s = ۱۰^{-۱۲}$ A است.

در بعضی موارد دیود در حالت بایاس ممکن است نتواند نقش خود را ایفا کند. برای نمونه در ولتاژهای بالا، تحت عنوان «ولتاژ شکست»[4] یا «V_{BR}» ، دیود همانند یک رسانا عمل کرده و جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهد. در لحظه شکست، جریان به‌سرعت و در جهت معکوس افزایش می‌یابد. اندازه V_{BR} در یک دیود معمولی حدود ۵۰- V ۵۰- V است. در اکثر موارد تلاش بر این است که دیود به دور از ولتاژ شکست نگه داشته شود.

رابطه جریان-ولتاژ برای یک دیود، با استفاده از ثابت‌های تعیین شده در آزمایشگاه، مشخص می‌شود. معمولاً رابطه بین جریان و ولتاژ را در دیودها مطابق با معادله زیر در نظر می‌گیرند.

$$i = I_s\left(e^{qv/kT} - 1\right) \qquad (۲۱)$$

دانشگاه علم و صنعت ایران

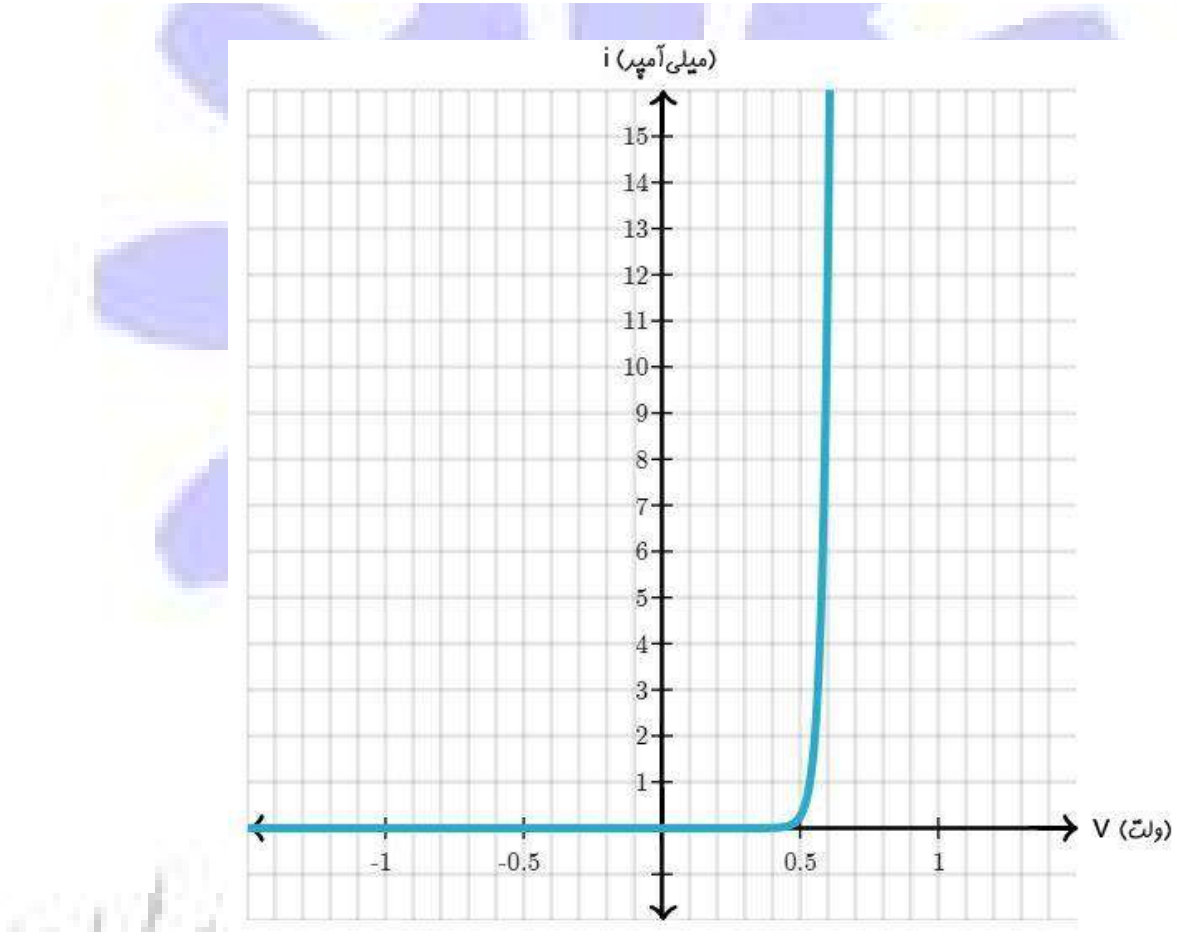
1- Forward Bias
2- Reverse Bias
3- Reverse Saturation Current
4- Breakdown Voltage

در این رابطه q ، k، υ و T به‌ترتیب نشان‌دهنده بار الکترون، ثابت بولتزمن، ولتاژ دو سر دیود و دما هستند. مقادیر k و q برابر هستند با:

$$q = 1.602 \times 10^{-19}\, C \qquad (۲۲)$$

$$k = 1.380 \times 10^{-23}\, {J}/{K} \qquad (۲۳)$$

رابطه بالا به ازای مقادیر مثبت ولتاژ صادق است. در حقیقت این مفهوم یک‌طرفه بودن دیود را نشان می‌دهد. در نمودار زیر منحنی مبتنی بر معادله بالا نشان داده شده‌است.



شکل (۲۵): طرحی از نمودار جریان-ولتاژ دیود و نمایش یک‌طرفه بودن جریان در دیود

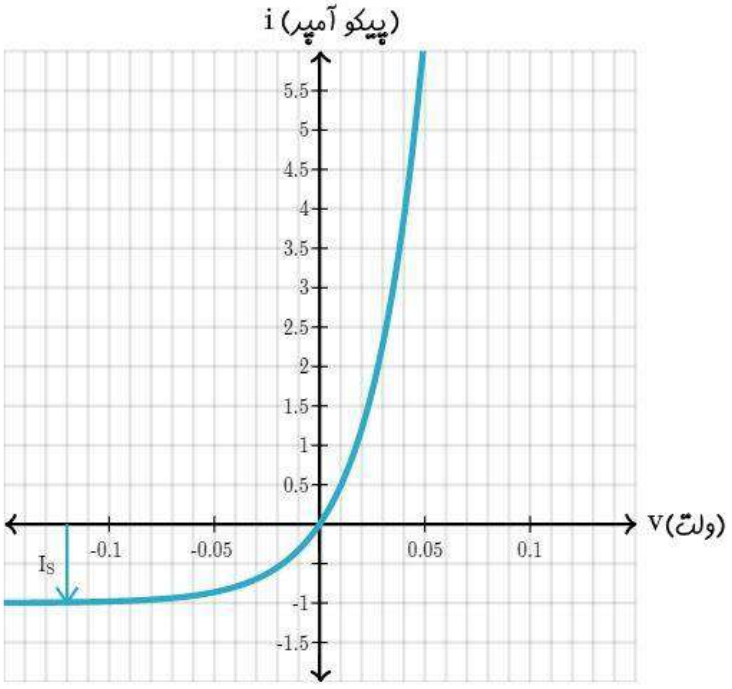
با استفاده از این فرضیات، رابطه ولتاژ-جریان در دمای اتاق را می‌توان به شکل زیر به‌دست آورد.

$$\frac{kT}{q} = \frac{4.14\times10^{-21}\,J}{1.602\times10^{-19}\,C} = 25.8 \approx 26\,mV \qquad (۲۴)$$

$$i = I_s\left(e^{qv/26mV} - 1\right) \qquad (۲۵)$$

معمولاً از این معادله به‌صورت تحلیلی به‌منظور توصیف رفتار دیود استفاده نمی‌شود. معمولاً از تحلیل نموداری و تصویری به‌منظور توصیف رفتار دیود استفاده می‌شود.

شاید تعجب کنید که به چه دلیل نمودار بالا، حالتی نمایی ندارد؛ دلیل این امر نشان دادن جریان الکتریکی بر حسب میلی‌آمپر است. در حقیقت اگر این رابطه بر حسب پیکو آمپر رسم شود، شکل زیر بدست می‌آید.



شکل (۲۵): طرحی از نمودار جریان-ولتاژ دیود در مقیاس پیکوآمپر

در شکل بالا I_S نشان‌دهنده جریان اشباع است. همچنین در این شکل مقادیر اندک جریانِ اشباعِ منفی، قابل رؤیت است. مقدار جریان معکوس اشباع، در دیودهای سیلیکونی حدود $۱۰^{-۱۲}$ و در دیودهای ژرمانیومی حدود $۱۰^{-۶}$ آمپر است. توجه داشته باشید که رابطه (۲۱) بیان‌کننده یک مدل‌سازی است و نمی‌توان از آن

به‌عنوان یک قانون یاد کرد. بنابراین در حالت کلی رابطه بین جریان و ولتاژ در یک دیود به نحوه ساخت، جنس، دما و غیره وابسته است.

۳-۱-۵- ترانزیستور

ترانزیستورها دنیای الکترونیک را احاطه کرده‌اند. حضور این قطعات الکترونیکی تقریباً در هر مدار مدرنی به عنوان یک قطعه کنترل حیاتی است. گاهی این قطعات را می‌توان روی بردهای الکترونیکی مشاهده کرد، اما امروزه اغلب در یک مدار مجتمع به‌کار رفته‌اند و از چشم ما پنهان هستند. در این آموزش مطالبی را برای آشنایی با رایج‌ترین ترانزیستور، یعنی ترانزیستور پیوندی دوقطبی(BJT) ، بیان می‌کنیم.

ترانزیستورها قطعات اکتیو سه‌سری هستند که از مواد نیم‌رسانا مختلف ساخته شده‌اند و می‌توانند در کاربردهای ولتاژ سیگنال کوچک به‌عنوان یک عایق یا یک رسانا عمل کنند. توانایی ترانزیستور در تغییر بین این دو حالت سبب می‌شود این قطعه دو عملکرد اساسی داشته باشد: سوئیچینگ و تقویت‌کنندگی.

از ترانزیستورها در اندازه‌های کوچک و انواع گسسته، می‌توان برای ساخت سوئیچ‌های الکترونیکی ساده، منطق دیجیتال و مدارهای تقویت‌کننده سیگنال استفاده کرد. هزاران، میلیون‌ها و حتی میلیاردها ترانزیستور در کنار یکدیگر درون تراشه‌های کوچکی تعبیه می‌شوند و حافظه‌های رایانه، ریزپردازنده‌ها و سایر مدارهای مجتمع پیچیده را تشکیل می‌دهند.

هدف ما در این آموزش، این است که درک گسترده‌ای از عملکرد ترانزیستور داشته باشید. همچنین، وارد جزئیات عمیق فیزیک نیم‌رساناها یا مدل‌های معادل نمی‌شویم. اما به اندازه کافی عمیق به موضوع عملکرد ترانزیستور خواهیم پرداخت تا به این درک برسید که چگونه می‌توان از ترانزیستور به‌عنوان سوئیچ یا تقویت‌کننده استفاده کرد.

دو نوع اساسی از ترانزیستورها وجود دارد: «تزانزیستور پیوندی دوقطبی[1]» و «ترانزیستور اثر میدان» [2]. ترانزیستور BJT خود دو نوع دارد: NPN و PNP . با محدود کردن بحث خود به ترانزیستورNPN ، سرعت بیان

1- Bipolar Junction Transistor (BJT)
2- Field- Effect Transistor (EFT)

مطلب را بالا می‌بریم. توجه کنید که با درک صحیح ترانزیستورNPN ، مفاهیم ترانزیستورهای PNP و حتی FET را به آسانی متوجه خواهید شد.

ترانزیستورها اساساً سه پایه دارند. درBJT، این پایه‌ها «جمع‌کننده[1]»، «پایه»[2] و «منتشرکننده»[3] نام دارند و آن‌ها را به‌ترتیب با سه حرف B ، C و E نشان می‌دهیم. شکل (۲۶) نماد دو ترانزیستور NPN و PNP را نشان می‌دهد.

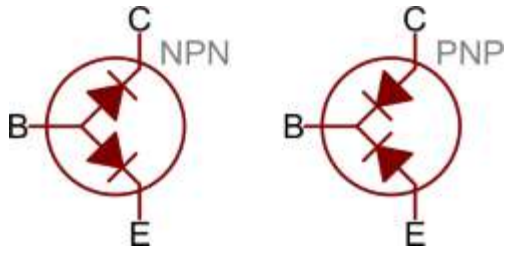
شکل (۲۶): نماد ترانزیستور PNP و NPN

تنها تفاوت نمادهای این دو ترانزیستور، جهت پیکان روی منتشرکننده آن‌ها است. پیکان روی منتشرکننده ترانزیستور NPN به‌سمت بیرون و جهت پیکان روی منتشرکننده ترانزیستور PNP به‌سمت داخل ترانزیستور است. شکل (۲۷) دو ترانزیستور BJT را نشان می‌دهد که یکی از آن‌ها NPN و دیگری PNP است.

شکل (۲۷): تصویری از ترانزیستورهای PNP و NPN

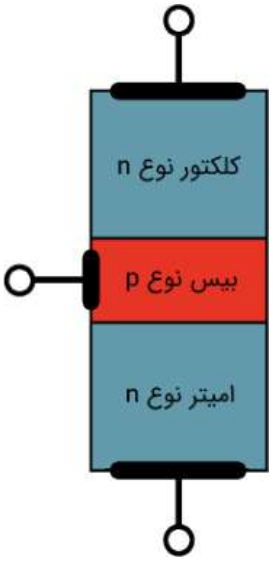
1- Collector
2- Base
3- Emitter

ترانزیستورها از نیم‌رساناها ساخته شده‌اند و براساس ویژگی‌های آن‌ها کار می‌کنند. نیم‌رسانا ماده‌ای است که هادی خالص (مانند سیم مسی) نیست، از طرفی عایق (مانند هوا) هم نیست. رسانندگی (اجازه به برقراری جریان الکترون) یک نیم‌رسانا به متغیرهایی مانند دما یا وجود الکترون‌های کمتر و بیشتر بستگی دارد. ترانزیستورها به نوعی توسعه‌ای از یکی دیگر از قطعات نیم‌رسانا، به نام دیود هستند. به نوعی ترانزیستورها چیزی جز دو دیود نیستند که کاتدها (یا آندهای) آن‌ها به هم پیوند خورده‌است. شکل (۲۸) این موضوع را به‌خوبی نشان می‌دهد.



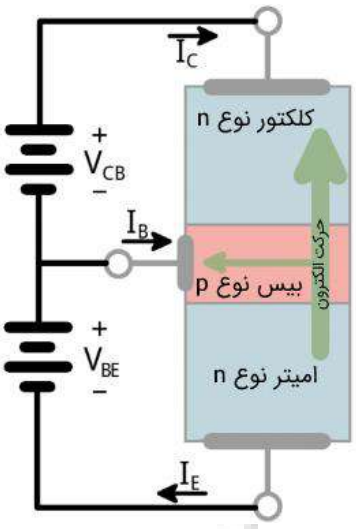
شکل (۲۸): نمایی از تشکیل ترانزیستور با استفاده از دو دیود

اتصال دیود پایه به منتشرکننده در اینجا مهم است و باید با جهت پیکان روی نماد ترانزیستور مطابقت داشته باشد. جهت پیکان جهت جریان گذرنده از ترانزیستور را نشان می‌دهد. نمایش دیودی ترانزیستور نقطه خوبی برای آشنایی با آن است، اما خیلی دقیق نیست. درک خود از عملکرد ترانزیستور را بر اساس این مدل دیودی قرار ندهید (و اصلاً سعی نکنید که آن را روی برد بورد پیاده‌سازی کنید، زیرا کار نمی‌کند). موارد زیادی در سطح فیزیک کوانتوم وجود دارد که کنش متقابل بین سه ترمینال را کنترل می‌کنند. در واقع، این مدل زمانی مفید خواهد بود که آزمون ترانزیستور لازم باشد. با استفاده از گزینه آزمون دیود (یا مقاومت) روی یک مولتی‌متر، می‌توانید ترمینال‌های BE و BC را آزموده و وجود دیودها را بررسی کنید. ترانزیستورها با قرار گرفتن سه لایه مختلف از مواد نیمه‌رسانا در کنار هم ساخته می‌شوند. بعضی از این لایه‌ها الکترون‌های اضافی به آن‌ها افزوده شده‌اند (فرایندی به نام دوپ کردن یا ناخالص‌سازی یا آلاییدن)، و بعضی دیگر الکترون‌هایشان حذف شده‌اند. در واقع، این مواد با حفره‌ها (عدم وجود الکترون‌ها) آلاییده شده‌اند. به یک ماده نیم‌رسانا با الکترون اضافی نیم‌رسانای نوع n و به ماده‌ای که الکترون از آن خارج شده نیم‌رسانای نوع p گفته می‌شود.



شکل (۲۹): نمایی از یک ترانزیستور و نامگذاری پایه‌های آن

الکترون‌ها به شرط آن‌که اندکی نیرو (ولتاژ) برای حرکت داشته باشند، به‌راحتی می‌توانند از ناحیه n به ناحیه p منتقل شوند. اما برقراری جریان از ناحیه p به ناحیه n واقعاً سخت است (به ولتاژ زیادی نیاز دارد). نکته خاص در مورد ترانزیستور که مدل دو دیودی ما را ناتوان می‌کند، این واقعیت است که در صورت بایاس مستقیم پیوند پایه-منتشرکننده، الکترون‌ها می‌توانند به‌راحتی از پایه نوع p به جمع‌کننده نوع n منتقل شوند. بایاس مستقیم پایه-منتشرکننده یعنی اینکه ولتاژ پایه نسبت به ولتاژ منتشرکننده بزرگ‌تر است.

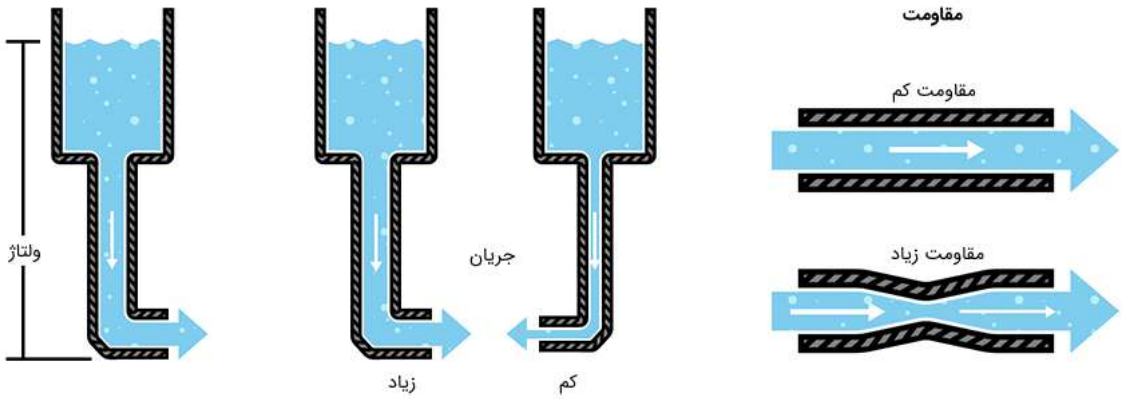


شکل (۲۹):نمایی از یک ترانزیستور و نمایش اعمال ولتاژ

ترانزیستور NPN برای گذر الکترون از منتشرکننده به جمع‌کننده طراحی شده‌است (بنابراین جهت قراردادی جریان از جمع‌کننده به منتشرکننده است). منتشرکننده الکترون‌هایی را به پایه می‌فرستد(پایه تعداد الکترون‌های منتشرشده را کنترل می‌کند. اکثر الکترون‌های منتشرشده به‌وسیله جمع‌کننده جمع می‌شوند و سپس در مدار گردش می‌کنند.

ترانزیستور PNP به روشی مشابه، اما برعکس کار می‌کند. در این ترانزیستور، باز هم پایه جریان را کنترل می‌کند، اما این جریان در جهت مخالف، یعنی از منتشرکننده به جمع‌کننده، برقرار است. این بار، منتشرکننده به جای الکترون‌ها، حفره‌ها را منتشر می‌کند که به‌وسیله جمع‌کننده جمع می‌شوند.

ترانزیستور به نوعی مانند یک شیر الکترون است. پایه مانند سرِ شیر است که می‌توانید آن را تنظیم کنید تا الکترون‌ها بیشتر یا کمتر از منتشرکننده به جمع‌کننده منتقل شوند. این تشبیه را در ادامه بیشتر بررسی می‌کنیم. تشبیه و مقایسه مفاهیمی که دسترسی بصری به آن‌ها برای ما به راحتی میسر نیست با موارد ملموس، کمک زیادی به ما در درک آن‌ها خواهد کرد. به‌این منظور، ترانزیستور را با شیر آب مقایسه می‌کنیم. برای مقایسه ترانزیستور با شیر آب، جریان الکتریکی را مشابه دبی آب در نظر می‌گیریم. همچنین، ولتاژ را مشابه فشار آب درون لوله و مقاومت الکتریکی را متناظر با سطح مقطع لوله فرض می‌کنیم (شکل (۳۰)).



شکل (۳۰): طرحواره‌ای از تشبیه ترانزیستور به شیر آب

جای تعجب نیست که می‌توان قیاس آب را به ترانزیستورها نیز تعمیم داد: ترانزیستور مانند شیر آب است؛ سازوکاری که می‌توانیم برای کنترل سرعت دبی آب از آن استفاده کنیم.

سه حالت در مدار وجود دارد که می‌توانیم از مثال شیر آب در آن‌ها استفاده کنیم و هر کدام تأثیر متفاوتی بر میزان جریان در مدار دارند. در ادامه، این حالت‌ها را بررسی می‌کنیم. یک شیر می‌تواند کاملاً باز باشد و اجازه دهد آب آزادانه جریان یابد. در واقع گویی اصلاً شیری وجود ندارد و آب بدون مانعی در لوله جریان دارد.

شکل (۳۱): طرحواره تشبیه شرایط اتصال کوتاه ترانزیستور به شیر کاملاً باز

به طور مشابه، در شرایط مناسب، یک ترانزیستور می‌تواند مانند یک اتصال کوتاه بین پایه‌های جمع‌کننده و منتشرکننده عمل کند. در این حالت، جریان به جمع‌کننده وارد شده و از منتشرکننده خارج می‌شود.

هنگامی‌که شیر بسته است، می‌تواند جریان آب را کاملاً قطع کند (شکل (۳۲)).

شکل (۳۲): طرحواره تشبیه شرایط مدار باز ترانزیستور به شیر کاملاً بسته

به همین ترتیب، می‌توان از ترانزیستور برای ایجاد مدار باز بین پایه‌های جمع‌کننده و منتشرکننده استفاده کرد.

با انجام برخی تنظیمات دقیق، می‌توان یک شیر را به‌گونه‌ای تنظیم کرد تا دبی آب چیزی بین جریان آب ناشی از شیر کاملاً باز و کاملاً بسته باشد (شکل (۳۳)).

شکل (۳۳): طرحواره تشبیه شرایط کنترل جریان ترانزیستور به شیر نیمه باز

یک ترانزیستور می‌تواند همین کار را انجام دهد؛ یعنی کنترل جریان به‌صورت خطی از طریق مدار در یک مقداری بین کاملاً قطع (مدار باز) و کاملاً وصل (اتصال کوتاه).

سطح مقطع لوله مشابه مقاومت در مدار است. اگر یک شیر بتواند سطح مقطع لوله را به‌خوبی تنظیم کند، در این صورت یک ترانزیستور می‌تواند مقاومت بین جمع‌کننده و منتشرکننده را به‌خوبی تنظیم کند. بنابراین، به نوعی، ترانزیستور مانند مقاومت متغیر قابل‌تنظیم است.

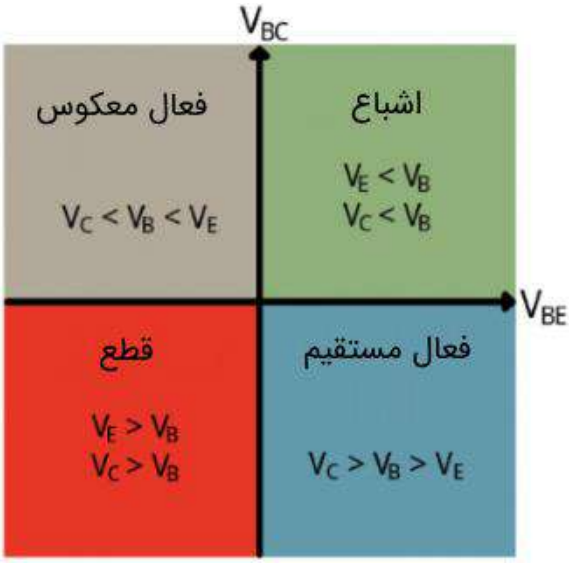
یک قیاس دیگر وجود دارد که می‌توانیم بیان کنیم. تصور کنید که با کمی چرخش شیر می‌توانید سرعت جریان دریچه‌های یک سد بزرگ را کنترل کنید. نیروی بسیار کمی که برای چرخاندن شیر صرف می‌کنید، توانایی ایجاد نیرویی هزاران برابر بیشتر را دارد. ترانزیستورها می‌توانند سیگنال‌های الکتریکی را تقویت کنند و سیگنال کم‌توان را به سیگنالی مشابه با توان بسیار بالاتر تبدیل کنند.

برخلاف مقاومت‌ها، که رابطه بین ولتاژ و جریان آن‌ها خطی است، ترانزیستورها قطعاتی غیرخطی هستند. در واقع، ترانزیستورها چهار حالت یا ناحیه عملکرد مشخص دارند که جریان عبوری از آن‌ها را توصیف می‌کند . مجدداً تأکید می‌کنیم هنگامی‌که در مورد جریان گذرنده از ترانزیستور صحبت می‌کنیم، معمولاً منظورمان جریان از جمع‌کننده به منتشرکننده ترانزیستور NPN است.

چهار حالت عملکرد ترانزیستور عبارتند از:

- **اشباع**[1]: ترانزیستور در این ناحیه مانند یک اتصال کوتاه عمل می‌کند و جریان آزادانه از جمع‌کننده به منتشرکننده برقرار است.
- **قطع**[2]: در این ناحیه عملکرد، ترانزیستور مانند یک مدار باز عمل می‌کند و هیچ جریانی از جمع‌کننده به منتشرکننده عبور نمی‌کند.
- **فعال**[3]: جریان جمع‌کننده به منتشرکننده متناسب با جریانی است که به پایه وارد می‌شود.
- **فعال معکوس**[4]: مانند حالت فعال، در این ناحیه نیز جریان متناسب با جریان پایه است، اما جهت جریان عکس است؛ یعنی جریان از منتشرکننده به جمع‌کننده برقرار است (البته که ترانزیستور معمولاً برای کار در این ناحیه طراحی نشده‌است).

برای تعیین اینکه یک ترانزیستور در کدام ناحیه کاری قرار دارد، باید ولتاژهای موجود در هر سه پایه و نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر را بررسی کنیم. ولتاژهای پایه- منتشرکننده (V_{BE}) و پایه-جمع‌کننده (V_{BC}) حالت ترانزیستور را مشخص می‌کنند. نمودار شکل (۳۴) به‌خوبی این موضوع را نشان می‌دهد.

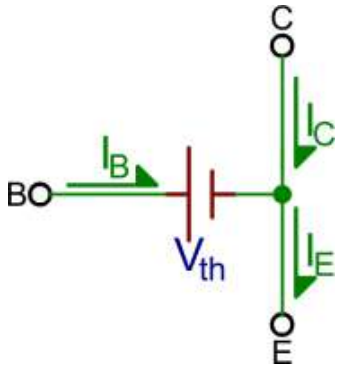


شکل (۳۴): نگاره‌ای از نواحی عملکردی ترانزیستور

1- Saturation
2- Cut-off
3- Active
4- Reverse-Active

نمودار چهاربعی ساده‌شده شکل (۳۴) نشان می‌دهد که چگونه ولتاژهای مثبت و منفی پایه‌ها روی ناحیه کاری ترانزیستور تأثیر می‌گذارند. البته واقعیت کمی پیچیده‌تر از این است. بیایید هر چهار ناحیه کاری ترانزیستور را به‌صورت جداگانه بررسی کنیم. نحوه قرار دادن ترانزیستور در ناحیه کاری و تأثیر آن بر جریان را بررسی خواهیم کرد. باز هم یادآوری می‌کنیم که تمرکز ما روی ترانزیستورهای NPN است. برای درک نحوه کار کردن ترانزیستورPNP ، کافی است پلاریته یا علائم < و > را برعکس کنید.

اشباع حالت روشن یا وصل ترانزیستور است. ترانزیستور در حالت اشباع مانند یک اتصال کوتاه بین جمع‌کننده و منتشرکننده عمل می‌کند (شکل (۳۵)).



شکل (۳۵): طرحواره‌ای از شرایط اشباع در ترانزیستور

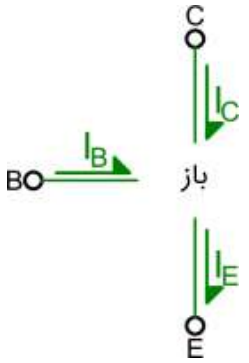
در حالت اشباع هر دو «دیود» موجود در ترانزیستور بایاس مستقیم هستند. این یعنی V_{BE} و همچنین V_{BC} باید بزرگ‌تر از صفر باشد. به‌عبارت دیگر، V_B باید بزرگ‌تر از V_E و V_C باشد.

از آنجا که اتصال از پایه به جمع‌کننده دقیقاً مانند یک دیود به‌نظر می‌رسد، در واقع V_{BE} برای ورود به اشباع باید از یک «ولتاژ آستانه»[1] بزرگ‌تر باشد. این ولتاژ با نمادهای مختلفی مانند V_{th} ، V_γ و V_d نشان داده می‌شود و مقدار واقعی آن برای ترانزیستورهای مختلف متفاوت است و حتی به دما نیز بستگی دارد. برای بسیاری از ترانزیستورها (در دمای اتاق) می‌توانیم این افت ولتاژ را تقریباً ۰٫۶ ولت در نظر بگیریم.

1- Threshold Voltage

واقعیت این است که هدایت کاملی بین منتشرکننده و جمع‌کننده وجود نخواهد داشت و بین این دو پایه اندکی افت ولتاژ ایجاد می‌شود. در دیتاشیت ترانزیستور، این ولتاژ به‌صورت ولتاژ اشباع CE و با نماد $V_{CE(sat)}$ تعریف می‌شود که همان ولتاژ لازم جمع‌کننده-منتشرکننده برای برای اشباع است. این مقدار معمولاً در حدود ۰٫۰۵ تا ۰٫۲ ولت است. در واقع، این ولتاژ نشان می‌دهد که V_C باید کمی بزرگ‌تر از V_E باشد تا ترانزیستور در حالت اشباع قرار گیرد (البته هنوز هم هر دو کوچک‌تر از V_B هستند).

ناحیه قطع در مقابل اشباع است. ترانزیستور در حالت قطع خاموش است و جریان جمع‌کننده و بنابراین جریان منتشرکننده وجود ندارد و تقریباً شبیه مدار باز است (شکل (۳۶)).



شکل (۳۶): طرحواره‌ای از شرایط اشباع در ترانزیستور

برای قرار دادن ترانزیستور در حالت قطع، ولتاژ بیس باید کمتر از ولتاژ امیتر و ولتاژ کلکتور باشد. این یعنی V_{BC} و V_{BE} هر دو باید منفی باشند.

در عمل، V_{BE} باید در مقداری بین صفر ولت و V_{th} (۰٫۶ ولت) باشد تا به حالت قطع برسد.

برای کار در **ناحیه فعال**، V_{BE} ترانزیستور باید بزرگ‌تر از صفر و V_{BC} منفی باشد .بنابراین، ولتاژ پایه باید کوچک‌تر از ولتاژ جمع‌کننده و بزرگ‌تر از ولتاژ منتشرکننده باشد. این همچنین به‌این معنی است که ولتاژ جمع‌کننده باید بزرگتر از ولتاژ منتشرکننده باشد ($V_C>V_B>V_E$).

در واقع، برای «روشن کردن» ترانزیستور به افت ولتاژ غیرصفر مستقیم (به اختصار V_{th} ، V_γ یا V_d) پایه به امنتشرکننده (V_{BE}) نیاز داریم. این افت ولتاژ معمولاً در حدود ۰٫۶ ولت است.

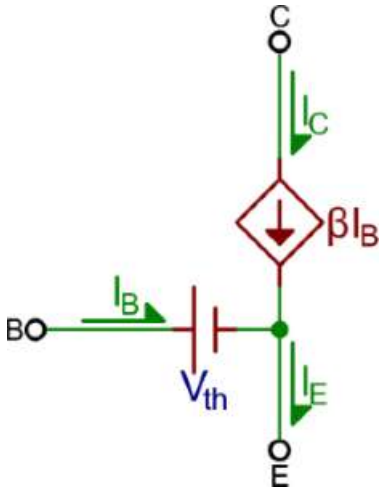
حالت فعال قوی‌ترین حالت ترانزیستور است، زیرا آن را به یک «تقویت‌کننده» تبدیل می‌کند. جریان ورودی به پایه، جریان ورودی به جمع‌کننده و جریان خروجی منتشرکننده را تقویت می‌کند.

از نماد β برای نشان دادن «بهره» یا (عامل تقویت‌کنندگی) یک ترانزیستور استفاده می‌کنیم (همچنین ممکن است آن را با نمادهای β_F یا h_{FE} مشاهده کنیم). بهره β رابطه خطی بین جریان جمع‌کننده (I_C) و جریان پایه (I_B) را بیان می‌کند:

$$I_C=\beta I_B \qquad (۲۶)$$

مقدار واقعی β برای ترانزیستورهای مختلف متفاوت است. مقدار آن معمولاً در حدود ۱۰۰ است، اما وابسته به اینکه از چه ترانزیستوری استفاده می‌شود و چه میزان جریانی از آن عبور می‌کند، می‌تواند از ۵۰ تا ۲۰۰ و حتی ۲۰۰۰ نیز باشد. به‌عنوان مثال، اگر اندازه β ترانزیستور ۱۰۰ باشد، یعنی اینکه جریان ورودی ۱ میلی‌آمپر به پایه می‌تواند جریان جمع‌کننده ۱۰۰ میلی‌آمپری را تولید کند.

شکل زیر مدل حالت فعال ترانزیستور را نشان می‌دهد که در آن، $V_{BE}=V_{th}$ و $I_C=\beta I_B$ هستند.



شکل (۳۷): طرحواره‌ای از شرایط فعال در ترانزیستور

در حالت فعال، جریان‌های جمع‌کننده و پایه وارد ترانزیستور می‌شوند و جریان منتشرکننده خارج می‌شود. برای ارتباط جریان منتشرکننده با جریان جمع‌کننده، مقدار ثابت دیگری نیز داریم که به آن بهره جریان «پایه مشترک»[1] می‌گوییم و آن را با α نشان می‌دهیم. این پارامتر، جریان‌های کلکتور و امیتر را به‌صورت زیر با هم مرتبط می‌کند:

$$I_C=\alpha I_E \qquad (۲۷)$$

مقدار α بسیار نزدیک به ۱ و البته کوچک‌تر از آن است. این به‌این معنی است که در حالت فعال، I_C بسیار نزدیک به I_E و کوچک‌تر از آن است. مقدار β را می‌توان از α و بالعکس، به‌دست آورد:

$$\beta=\frac{\alpha}{1-\alpha},\alpha=\frac{\beta}{1+\beta} \qquad (۲۸)$$

برای مثال، اگر β برابر با ۱۰۰ باشد، یعنی α برابر با ۰٫۹۹ است. در نتیجه، اگر I_C برابر با ۱۰۰ میلی‌آمپر باشد، یعنی I_E برابر با ۱۰۱ میلی‌آمپر است.

آنچه تاکنون بیان کردیم مربوط به ترانزیستور NPN بود و که نوعی از ترانزیستورهای BJT هستند. کار ترانزیستور PNP بسیار شبیه به NPN است و آن‌ها هم چهار ناحیه کاری دارند. برای اینکه بدانید با توجه به اندازه ولتاژها نسبت به یکدیگر، یک ترانزیستور PNP در کدام حالت قرار دارد، باید همه علائم > و < مربوط به ترانزیستور NPN را معکوس کنید.

به‌عنوان مثال، برای قرار دادن یک ترانزیستور PNP در ناحیه اشباع، ولتاژهای V_C و V_E باید بزرگ‌تر از V_Bباشند. ولتاژ پایه را کم می‌کنیم تا ترانزیستور PNP روشن شود. در طرف مقابل، آن را بزرگ‌تر از جمع‌کننده و منتشرکننده قرار می‌دهیم تا خاموش شود. همچنین، برای قرار دادن PNP در حالت فعال، V_E باید بزرگ‌تر از V_Bباشد و V_C از هردو آن‌ها کوچک‌تر باشد (جدول (۶)).

1- Common-Base

جدول (۶): شرایط عملکردی ترانزیستورهای PNP

حالت NPN	روابط ولتاژ
فعال	$V_E<V_B<V_C$
اشباع	$V_E<V_B>V_C$
قطع	$V_E>V_B<V_C$
معکوس	$V_E>V_B>V_C$

یکی دیگر از تفاوت‌های ترانزیستورهای NPN و PNP جهت جریان آن‌ها است. در حالت‌های فعال و اشباع، جریان PNP از منتشرکننده به جمع‌کننده است. این یعنی ولتاژ منتشرکننده باید بزرگ‌تر از ولتاژ جمع‌کننده باشد.

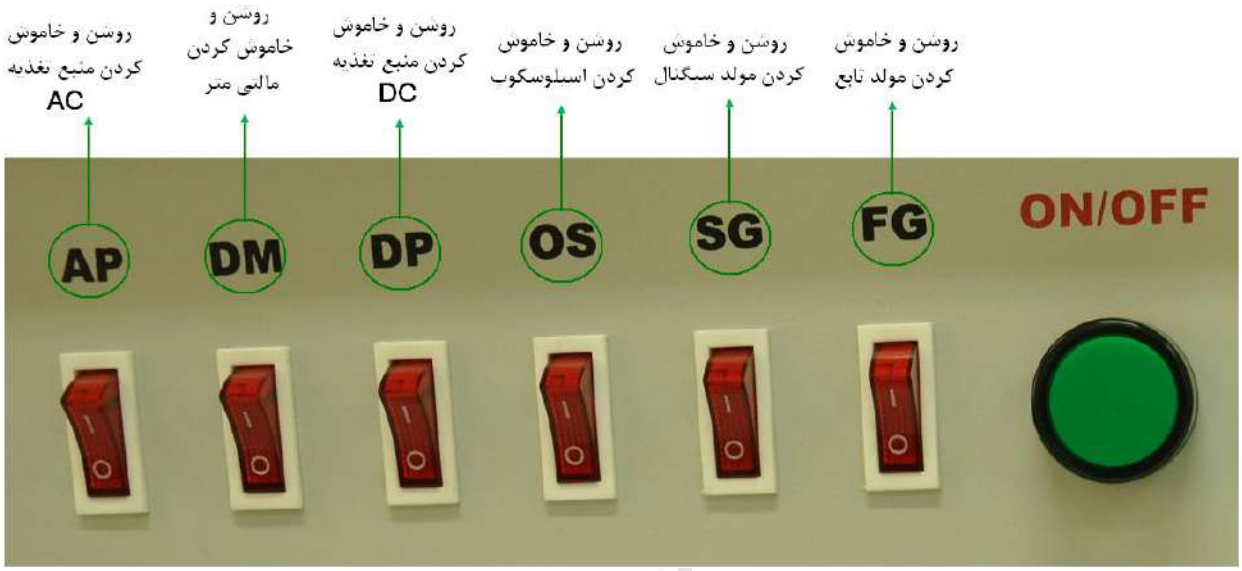
۳-۲- آشنایی با میز آزمایشگاه الکترونیک

میز کار آزمایشی که در آزمایشگاه الکترونیک تمامی آزمایش‌ها روی آن انجام می‌گیرند، شامل قطعات و دستگاه الکترونیکی‌ای از قبیل: مولتی‌متر دیجیتال، منابع تغذیه *DC* و *AC*، اسیلوسکوپ، مولد سیگنال (سیگنال ژنراتور)[1] و فانکشن ژنراتور، خروجی‌های ولتاژ شهری و کلیدهای روشن و خاموش نمودن مربوط به هر یک از اجزا مذکور. در شکل زیر یک نمای کلی از این میز نشان داده شده‌است.

1 - Signal generator

شکل(۳۸): تصویری از میز الکترونیکی آزمایشگاه الکترونیک

به‌منظور برقرار نمودن جریان الکتریکی اصلی میز آزمایش، پس از اطمینان حاصل کردن از اتصال سیم رابط اصلی میز به پریز برق، از کلید و فیوز تعبیه‌شده در کناره میز استفاده کنید (در این حالت چراغ سبز رنگ میز روشن خواهد شد). همچنین به‌منظور استفاده از هر یک از اجزا و دستگاه‌های الکترونیکی ذکر شده در بالا و روشن و خاموش کردن آن‌ها، از کلیدهای مخصوص و مربوط به هریک از این اجزا استفاده می‌شود. قرار دادن کلید در وضعیت I و روشن شدن چراغ نشانه آماده به‌کار بودن دستگاه مربوطه و قرار دادن کلید در وضعیت O و خاموش شدن چراغ نشانه فعال نبودن آن است (شکل (۳۹) را مشاهده نمایید).



شکل(۳۹): نمایی از کلیدهای تعبیه شده روی میز الکترونیکی

همان‌گونه‌که ذکر شد، روی میز منابع و ابزار اندازه‌گیری تعبیه شده‌است و از سوی دیگر از ابزارهای قابل‌حمل نیز استفاده می‌شود. در ادامه موارد مذکور معرفی خواهند شد.

۳-۳- منابع تغذیه الکترونیکی

یکی از ابزار ضروری برای استفاده در آزمایشگاه الکترونیک، انواع منابع تغذیه آزمایشگاهی هستند. از این ابزار برای تأمین انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. برای انتخاب این وسیله باید ویژگی‌هایی از قبیل ولتاژ خروجی، حداکثر جریان خروجی، شکل موج خروجی و در عین حال پایداری مشخصات خروجی دقت کرد.

اگرچه مجموعه وسیعی از لوازم الکترونیکی از جمله باتری‌های سربی- اسیدی، نیکل، هیدرید فلز وجود دارند که می‌توانند انرژی الکتریکی را ایجاد نمایند، اما دستگاه منبع تغذیه آزمایشگاهی علاوه بر این ویژگی قابلیت تثبیت انرژی به‌دست‌آمده را نیز دارا است.

۳-۳-۱- اصول عملکرد منابع تغذیه آزمایشگاهی

خروجی‌های منبع تغذیه متغیر آزمایشگاهی علاوه بر آن‌که باید بتوانند ولتاژ خروجی را تنظیم نمایند، باید قابلیت تنظیم جریان خروجی را نیز داشته باشند. تنظیم ولتاژ خروجی به‌منظور استفاده از منبع ولتاژ تثبیت شده و قابلیت محدودکردن جریان خروجی صورت می‌گیرد به این شکل که با قرار دادن منبع تغذیه در حالت ولتاژ بیشینه و محدود کردن جریان خروجی، می‌توان از آن به‌عنوان منبع جریان استفاده کرد. منابع تغذیه مورد استفاده در این آزمایشگاه منبع تغذیه مستقیم، متناوب و فانکشن ژنراتور هستند. در ادامه توضیحی مختصر در مورد این سه منبع ارائه خواهد شد.

۳-۳-۱- الف- منبع تغذیه *DC*

منابع تغذیه *DC* در آزمایشگاه وابسته به نوع آزمایش می‌تواند، تک کاناله یا چند کاناله باشد. می‌تواند کانال ثابت یا متغیر داشته باشد. منبع تغذیه مستقیم نصب شده بر روی میز در شکل(۴۰) نشان داده شده‌است.

دانشگاه علم و صنعت ایران

شکل(۴۰): تصویری از منبع تغذیه مستقیم نصب‌شده روی میز الکترونیکی

از جافیش‌های کانال‌های ۱و۲ جهت دسترسی به ولتاژهای متغیر بین صفر تا ۳۰ ولت استفاده می‌شود. در این حالت برای تنظیم مقدار ولتاژ و جریان باید از پیچ‌های تنظیم *VOLTAGE* و *CURRENT* استفاده شود. مقدار جریان و ولتاژ تنظیم شده را می‌توان از روی صفحه نمایش مربوطه مشاهده کرد. جفت جافیش کانال‌های ۳و۴ نیز به‌ترتیب مقدار ولتاژهای ثابت ۵ ولت و ۱۰ ولت را تامین می‌کنند. همانگونه‌که مشاهده می‌کنید، در هر خروجی شما حداقل دو خروجی مثبت و منفی دارید که وابسته به مدار گاهی انتخاب صحیح جهت شارش جریان اهمیت پیدا می‌کند. در صورتی‌که در آزمایشی از منبع مستقیم نصب‌شده روی میز استفاده نشود، در مورد منبع تغذیه جایگزین توضیحاتی ارائه خواهد شد.

۳-۳-۱- ب- منبع تغذیه *AC*

منبع تغذیه *AC* معمولاً منبع الکتریکی است که ولتاژ ۲۲۰ ولت شهر را با استفاده از مدارات داخلی به ولتاژی کمتر ولی با فرکانسی یکسان با فرکانس برق شهر تبدیل می‌کند. در آزمایشاتی که از منبع تغذیه *AC* استفاده می‌شود، خصوصیات این نوع از منبع توضیح داده می‌شود. از منبع روی میز الکترونیکی استفاده نمی‌شود، ولی جهت آشنایی اطلاعاتی در رابطه با آن در ادامه ارائه خواهد شد. در شکل(۴۱) نمای کلی منبع تغذیه *AC* نشان داده شده است.

شکل(۴۱): نمایی از منابع *AC* تعبیه شده روی میز الکترونیکی

همان‌گونه‌که در شکل نیز پیداست، از جفت جافیش‌های زرد رنگ به‌منظور ایجاد مقدار ولتاژ متناوب ۶ ولت و از جفت جافیش‌های سبز رنگ و آبی به ترتیب، جهت دسترسی به‌مقدار ولتاژهای ۱۲ و ۲۰ ولت استفاده می‌شود. همچنین به‌منظور استفاده از ولتاژهای متناوب و متغیر با نظارت کامل مربیان آزمایشگاه از جفت جافیش قرمز رنگ استفاده می‌شود. در این حالت پیچ تنظیم مقدار ولتاژ متناوب نیز در کنار آن تعبیه شده‌است. صفحه نمایشگر میزان ولتاژ خروجی را نشان می‌دهد.

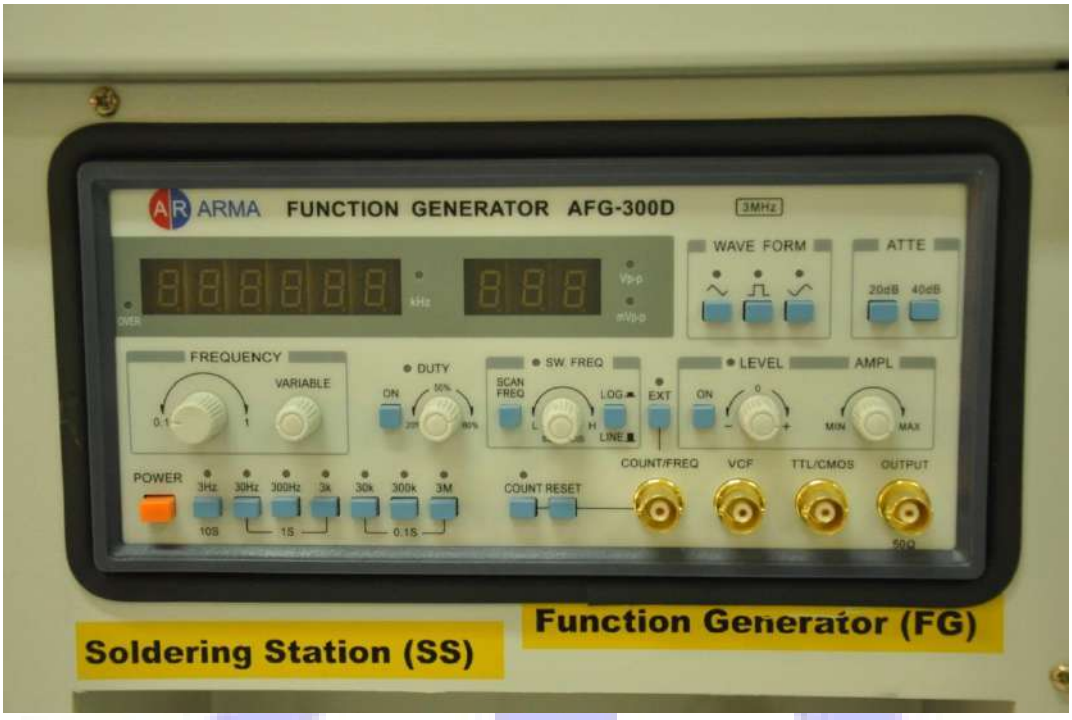
۳-۳-۱-ج- فانکشن زنراتور

ژنراتورهایی که در گسترهٔ فرکانسی *Hz* ۱ تا *MHz* ۱(*AF*) شکل موج‌های مختلفی از جمله سینوسی، مربعی، دندان اره‌ای و مثلثی ایجاد می‌کنند، فانکشن ژنراتور نام دارند. شاید از خود سوال کنید که سیگنال ژنراتور چیست؟ و چه تفاوتی با فانکشن ژنراتور دارد؟ در ابتدا جواب سوال اول را داده و سپس به بررسی مورد دوم خواهیم پرداخت.

سیگنال ژنراتور دستگاهی است که قادر به تولید سیگنال‌ها یا امواج الکترونیکی با مقدار دامنه (ولتاژ) و فرکانس موردنظر ما بوده و این سیگنال را برای وارد کردن به مدار و دیگر کارها به خروجی می‌فرستد، سیگنال ژنراتور نامیده می‌شود.

بسیاری از افراد فکر می‌کنند فانکشن ژنراتور و سیگنال ژنراتور با هم تفاوتی ندارند. سیگنال ژنراتور و فانکشن ژنراتور از مهم‌ترین دستگاه‌هایی هستند که کاربرد زیادی دارند. می‌توان گفت ماهیت این دو ژنراتور مثل هم است و هر دو وظیفهٔ تولید سیگنال متناوب تولید می‌کنند. اصلی‌ترین تفاوت این دو مولد در نوع سیگنالی می‌باشند که آن‌ها تولید می‌کنند. فانکشن ژنراتورها قادرند انواع سیگنال‌های مربعی، سینوسی، مثلثی و ... را تولید کنند، درحالی‌که سیگنال ژنراتور فقط سیگنال سینوسی تولید می‌کند. تفاوت دیگر سیگنال ژنراتور با فانکشن ژنراتور در دامنهٔ سیگنال و میزان فرکانس است. کلاً فرکانس سیگنالی که توسط فانکشن ژنراتورها تولید می‌شود از فرکانس سیگنالی که سیگنال ژنراتور تولید می‌کند کمتر است. پس سیگنال ژنراتورها قادرند سیگنال‌هایی با فرکانس بالا ایجاد کنند، به‌عنوان مثال فرکانس تولیدی در مدل‌های معمولی تا ۱۵۰ مگاهرتز قابل تنظیم است. در فانکشن ژنراتورهای معمولی فرکانس تولیدی در مدل‌های تولیدی تا ۲ یا ۳ مگاهرتز است. شرایط در دامنه سیگنال است. در سیگنال ژنراتورها دامنه سیگنال‌های تولیدی خیلی کم و حدوداً چند ده میلی‌ولت است. در فانکشن ژنراتورها دامنه سیگنال‌های تولیدشده خیلی از سیگنال ژنراتورها بیشتر است. دامنه سیگنال ژنراتورهای معمولی در حدود ۱۰ تا ۲۰ ولت پیک تا پیک است. نتیجه حاصل می‌شود که سه فاکتور اصلی در مقایسه بین سیگنال ژنراتور و فانکشن ژنراتور عبارتند از: میزان فرکانس، دامنه و شکل موج. تصویری از دستگاه موجود روی میز در شکل(۴۲) ارائه خواهد شد.

(الف)



(ب)

شکل(۴۲): الف) تصویری از سیگنال ژنراتور، ب) تصویری از فانکشن ژنراتور

۳-۴- ابزارهای اندازه‌گیری

دستگاه‌های اندازه‌گیری مورد استفاده در آزمایشگاه الکترونیک، مولتی‌متر دیجیتال و اسیلوسکوپ هستند این دو دستگاه در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۳-۴-۱- مولتی‌متر دیجیتال

مولتی‌متر یا تست‌کننده چندگانه ابزار الکترونیکی اندازه‌گیری است که چندین تابع اندازه‌گیری را در یک واحد ترکیب نموده‌است. یک مولتی‌متر توانایی اندازه‌گیری ولتاژ، جریان یا مقاومت را دارد. شکل(۴۳) تصویری از مولتی‌متر دیجیتال نصب‌شده بر روی میز را نشان می‌دهد.

دانشگاه علم و صنعت ایران

شکل(۴۳): تصویری از مولتی‌متر نصب‌شده روی میز الکترونیکی

اطلاعات مربوط به سیستم فوق به قرار زیر است:

❖ **صفحهٔ نمایش:**

وابسته به دقت ۴ رقم و محل مربوط به علامت اعشار و نشانگر پلاریته، نشانگر کاهش قدرت باتری، نمایشگر مقدار اندازه‌گیری شده، و واحد اندازه‌گیری و آنکه AC وDC انتخاب شده‌است (برای اندازه‌گیری جریان و ولتاژ) را در بر می‌گیرد.

❖ **قسمت ترمینال ورودی**

- ترمینال مشترک و زمین Com
- ترمینال اندازه‌گیری ولتاژ، مقاومت و فرکانس $V\ \Omega\ Hz$

به صورت مشترک با ترمینال Com و به صورت موازی در مدار متصل می‌شود.

- ترمینال اندازه‌گیری جریان $m\ A,15\ mA$

با ترمینال Com به‌صورت سری در مدار قرار می‌گیرد.

این دستگاه می‌تواند مقاومت(Ω)، ولتاژ(V) و جریان (آمپرمتر A) را اندازه‌گیری نماید. در قسمت پایین چپ سیستم دکمه ON/OFF دکمه روشن و خاموش دستگاه می‌باشد. دکمه‌های سمت چپ پایین صفحهٔ نمایشگر، کلید تعویض عملکرد دستگاه است. بوسیله این کلید، دستگاه مولتی‌متر در حالتهای مختلف مانند آمپرمتر، اهم‌متر و ولت‌متر قرار می‌گیرد. با دکمه DC/AC شرایط اندازه‌گیری جریان و ولتاژ مستقیم و متناوب انتخاب می‌شود. در سمت راست دستگاه چهار محل اتصال سیم (ترمینال) قرار دارد، که ترمینال مشکی رنگ (Com)

به‌صورت مشترک در تمام موارد فوق مورد استفاده قرار می‌گیرد. ترمینال V برای تعیین ولتاژ به‌کار می‌رود و ترمینال $15\ A$ و mA برای اندازه‌گیری جریان به‌ترتیب در گستره میلی‌آمپر و تا حد ۱۵ آمپر می‌باشند.

در آزمایشگاه اغلب مولتی‌متر دیجیتال استفاده خواهید کرد. شکل(۴۴) تصویری از این مولتی‌متر را نشان می‌دهد.

شکل(۴۴): تصویری از مولتی‌متر دیجیتال

۳-۴-۲- اسیلوسکوپ

نوسان‌نما یا اسیلوسکوپ دستگاه الکترونیکی است که امکان مشاهده ولتاژ را فراهم می‌کند. غالباً مقدار ولتاژ به‌صورت نموداری دوبعدی نمایش داده می‌شود که محور افقی زمان و محور عمودی آن ولتاژ است. از اسیلوسکوپ عموماً برای نمایش دقیق موج استفاده می‌شود. علاوه بر دامنه، معمولاً اسیلوسکوپ‌ها قادر به اندازه‌گیری و نمایش دیگر پارامترها مانند عرض پالس، دورهٔ تناوب و زمان بین دو حادثه (مانند وقوع دو پیک) هستند. اسیلوسکوپ وسیلهٔ اندازه‌گیری است، که کار آن نمایش ولتاژ برحسب زمان است.

اسیلوسکوپ قابلیت آن را دارند که دو یا چند شکل موج ولتاژ در واحد زمان را به‌طور همزمان روی صفحهٔ اسیلوسکوپ نمایش دهند. همچنین این قابلیت را دارند که یک شکل موج ولتاژ را برحسب دیگری نمایش دهند. به این مود لیساژور یا x-y می‌گویند.

اسلوسکوپ‌ها در حقیقت رسام‌های بسیار سریع هستند که سیگنال ورودی را دو برابر زمان یا در برابر سیگنال دیگر نمایش می‌دهند. قلم این رسام یک لکه نورانی است که در اثر برخورد یک باریکه الکترون به پردهٔ فلورسانس بوجود می‌آید.

به علت لختی بسیار کم باریکه الکترون می‌توان این باریکه را برای دنبال‌کردن تغییرات لحظه‌ای (ولتاژهایی که بسیار سریع تغییر می‌کنند، با فرکانس‌های بسیار بالا) به‌کار برد. اسیلوسکوپ بر اساس ولتاژ کار می‌کند. البته به‌کمک مبدل‌های (ترانزیستورها)، می‌توان جریان الکتریکی و کمیت‌های دیگر فیزیکی و مکانیکی را به ولتاژ تبدیل کرد.

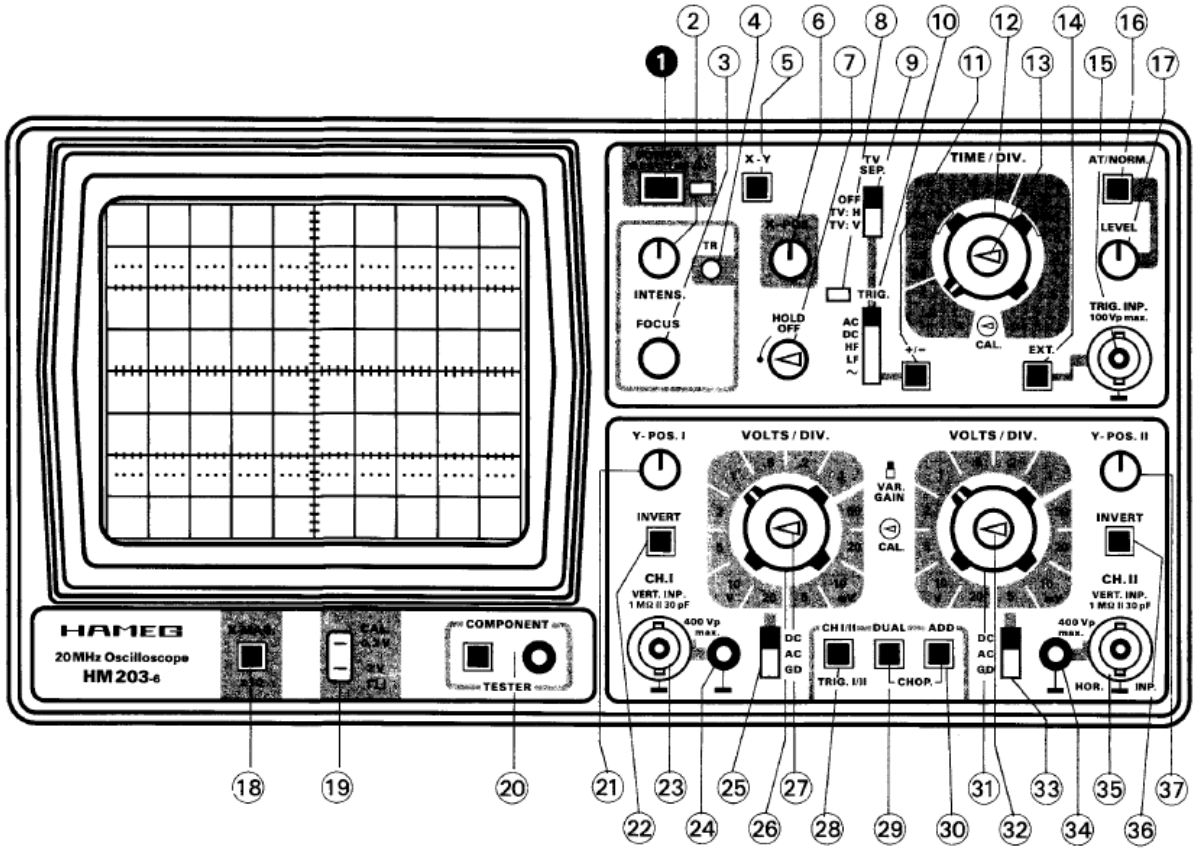
البته مدل‌های جدید اسیلوسکوپ، شکل موج سیگنال را به‌جای روش‌های پرتوی کاتدی که در بالا ذکر شد به صورت دیجیتالی روی صفحهٔ نمایش نشان می‌دهند. این اسیلوسکوپ‌های دیجیتالی علاوه بر تفاوت در نحوهٔ نمایش سیگنال، تفاوت‌های عمده‌ای در زمینه امکانات با انواع آنالوگ دارند که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به ذخیره‌سازی شکل موج و تهیه اسکرین‌شات اشاره کرد.

شکل(۴۵) تصویری از اسیلوسکوپ نصب‌شده بر روی میز الکترونیکی را نشان می‌دهد.

شکل(۴۵): تصویری از اسیلوسکوپ نصب‌شده روی میز الکترونیکی

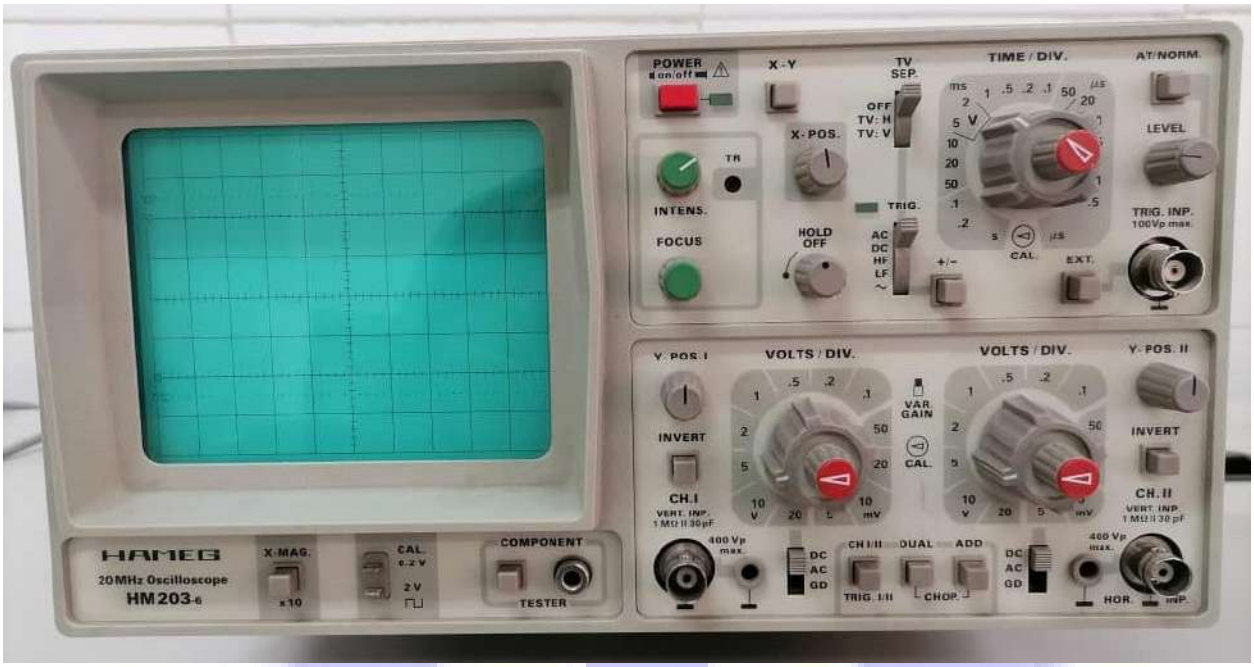
در بسیاری از آزمایشات آزمایشگاه الکترونیک از اسیلوسکوپ شرکت *HAMAG* استفاده می‌شود. با توجه به آنکه اصول عملکرد اسلوسکوپ‌ها یکسان است، در ادامه توضیحی مبسوط در مورد این اسیلوسکوپ ارائه خواهد شد.

در شکل(۴۶ الف) صفحه اسیلوسکوپ هامگ(*HAMEG 20 MHZ*) را مشاهده می‌کنید. توضیحات لازم با توجه به شمارهٔ مربوط به هر قسمت دستگاه در صفحه بعد آورده شده‌است. در شکل (۲۹ ب) تصویری دیگر از این اسیلوسکوپ ارائه می‌شود.



الف

دانشگاه علم و صنعت ایران



ب

شکل(۴۶): الف- طرح شماتیک اسیلوسکوپ *HM 203-6*، ب- تصویری از اسیلوسکوپ مذکور

۱. کلید اصلی دستگاه *Power On/Off*: جهت روشن و خاموش کردن اسیلوسکوپ در کنار این کلید یک دیود نورانی وضعیت روشن یا خاموش بودن دستگاه را مشخص می‌کند.
۲. پیچ تنظیم شدت نور *Intens*: جهت تنظیم میزان شدت نور اشعه جاروب کننده صفحه لامپ تصویر.

توجه: هنگام شروع کار با دستگاه این پیچ را در قسمت وسط قرار دهید.

۳. پیچ تنظیم *Focus*: جهت تنظیم و متمرکزکردن اشعه جاروب‌کننده در یک نقطه در صورتی که اشعه تنظیم نشده باشد، منحنی‌های تشکیل شده روی صفحه لامپ پهن‌تر از معمول دیده می‌شوند.
۴. پیچ تنظیم *TR*: جهت افقی نمودن خط *Ground* اسیلوسکوپ.

توجه: این پیچ توسط آچار دو سو تنظیم می‌شود.

۵. کلید *x...y*: فشار دادن این کلید به داخل باعث می‌شود موج جاروب افقی لامپ اسیلوسکوپ به‌جای اسیلاتور موج دندانه اره‌ای از کانال *II* دریافت شود.
۶. پیچ *x-Pos*: جهت کنترل موقعیت موج در محور *x* ها.

توجه: هنگام شروع کار این پیچ را در وسط قرار دهید.

۷. پیچ *Hold off*: جهت کنترل نمودن زمان بین موج دندانه اره‌ای جاروب افقی به کار می‌رود.

۸. لامپ *TRIG*: اگر موج دندانه اره‌ای جاروب افقی بتواند خود را با موج ورودی به کانالهای *I* و یا *II* اسیلوسکوپ هم‌زمان نماید در این صورت تصویر بدون هیچ حرکتی تشکیل می‌شود و لامپ *TRIG* نیز روشن می‌شود.

۹. کلید سه وضعیتی *TVSEP*: که دارای سه وضعیت به شرح زیر می‌باشد:

OFF: حالت کار عادی اسیلوسکوپ.

H :TV: جهت کار در قسمتهای مربوط به پالسهای هم‌زمانی افقی تلویزیون.

V :TV: جهت کار در قسمتهای مربوط به پالسهای هم‌زمانی عمودی تلویزیون.

۱۰. کلید پنج وضعیتی *TRIG*: این کلید جهت هم‌زمان کردن موج ورودی با موج دندانه اره‌ای داخل اسیلوسکوپ به کار می‌رود و دارای پنج وضعیت به شرح زیر می‌باشد:

AC: برای تریگر کردن موج *AC* *DC*: برای تریگر کردن موج *DC*

HF: برای تریگر کردن موج *HF* *LF*: برای تریگر کردن موج *LF*

∼: حالت تریگر خط داخلی

۱۱. کلید -/+: جهت انتخاب شیب سیگنال نمایش داده‌شده

+ : شروع موج با سه بالا روند(نیم سیکل مثبت)

- : شروع موج با سه پایین رونده(نیم سیکل منفی)

۱۲. کلید سلکتور*Time / Div*: جهت تنظیم فرکانس موج دنده اره‌ای جاروب افقی دارای رنجهای μs الی ثانیه.

۱۳. پیچ تنظیم : این پیچ در قسمت مرکزی سلکتور *Time / Div* قرار دارد و برای تنظیم نهایی فرکانس موج دنده اره‌ای جاروب افقی به کار می‌رود.

توجه : این پیچ در حالت کار عادی باید در وضعیت قرار گیرد.

۱۴. کلید *Ext*: جهت انتخاب حالت تریگر نمودن موج، در حالت خارج به وسیلهٔ موج داخلی و در حالت داخل به وسیلهٔ موج خارجی تریگر می‌شود.

۱۵. اتصال *TRIGINP*: جهت اعمال موج تریگر خارجی برای اعمال موج تریگر خارجی کلید شمارهٔ ۱۴ باید در حالت داخل باشد.

۱۶. کلید *AT/NORM*: جهت انتخاب حالت اتوماتیک یا نرمال تریگر، کلید در حالت خارج تریگر اتوماتیک می باشد و در حالت داخل باشد عمل تریگر توسط پیچ شمارهٔ ۱۷ انجام می‌شود.

۱۷. پیچ *Level*: در صورتی‌که کلید ۱۶ در حالت داخل باشد عمل تریگر توسط این پیچ انجام می‌شود.

۱۸. کلید ۱۰× *X-Mag* : توسط فشار دادن این کلید موج نمایش داده‌شده در جهت محور *x* ها، ۱۰ برابر انبساط پیدا می‌کند و برای اندازه‌گیری فرکانس تا *MHZ* ۵۰ به کار می‌رود.

۱۹. اتصال *CAL 0.2V-2V*: عمل کنترل کالیبراسیون اسیلوسکوپ را انجام می‌دهد.

۲۰. کلید جک *Component Tester*: این کلید در حالت کار عادی باید در وضعیت خارجی قرار گیرد در صورتی که این کلید فشار داده‌شود خطی افقی روی صفحه اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود و در صورت وصل نمودن جک مربوط به زمین این خط تبدیل به خط عمودی می‌شود.

۲۱. پیچ *y-Pos-1*: جهت کنترل عمودی تصویر کانال *I*

۲۲. کلید *Invert ChI*: با فشار دادن این کلید موج نمایش داده‌شده روی صفحه معکوس می‌شود.

۲۳. اتصال *CH-I*: ورودی کانال *I* با امپدانس داخلی *1MΩ ||| 30 PF*.

۲۴. اتصال(جک) زمین: این اتصال از داخل به زمین دستگاه متصل می‌باشد.

۲۵. کلید *AC / DC / GD*: به وسیله این کلید حالت کار دستگاه به شرح زیر تعیین می‌شود.

DC: در این حالت هم مقدار *DC* و هم مقدار *AC* موج نمایش داده می‌شود.

AC: در این حالت مقدار *DC* موج حذف شده و تنها مقدار *AC* نمایش داده می‌شود.

GD: در این حالت یک خط مستقیم بر روی صفحه اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود.

۲۶. کلید سلکتور *Volts / Div*: جهت تنظیم دامنه موج نمایش داده‌شده روی صفحه لامپ تصویر اسیلوسکوپ می‌باشد.

۲۷. پیچ تنظیم ◀ : این پیچ در قسمت مرکزی سلکتور *Volts / Div* قرار دارد و برای افزایش رنج اندازه‌گیری ولتاژ به کار می‌رود.

توجه: این پیچ در حالت کار عادی باید در وضعیت ◀ قرار گیرد.

۲۸. کلید *CH I/II*: جهت انتخاب کانال ورودی به کار می‌رود. در حالت خارج کانال *I* و در حالت داخل کانال *II* نمایش داده می‌شود.

۲۹. کلید *Dual*: در صورتیکه این کلید در حالت خارج باشد تنها موج یک کانال بسته به حالت کلید ۲۸ نمایش داده می‌شود و در حالت داخل هر دو موج روی صفحه ظاهر می‌شوند.

۳۰. کلید *ADD*: توسط این کلید می‌توانیم موجهای ورودی به کانالهای *I* و *II* را روی صفحهٔ نمایش با هم جمع جبری کنیم.

۳۱. کلید سلکتور *Volt s/Div*: مانند کلید شمارهٔ ۲۶ می‌باشد.

۳۲. پیچ تنظیم ◀ : طرز عمل این پیچ مانند پیچ شماره ۲۷ می‌باشد.

۳۳. کلید *DC / AC / GD*: طرز عمل این کلید مانند کلید شمارهٔ ۲۵ می‌باشد.

۳۴. اتصال(جک) زمین: این اتصال در شماره ۲۴ توضیح داده شده‌است.

۳۵. اتصال *CH-II*: ورودی کانال *II* با امپدانس *1 MΩ ||| 30 PF*

۳۶. کلید *Invert CH-II*: جهت مولکولی‌کردن موج نمایش داده‌شده کانال *II*

۳۷. پیچ *y-Pos II*: جهت کنترل عمودی تصویر کانال *II*

دانشگاه علم و صنعت ایران