به نام خدا

ماشین‌های کنترل عددی (CNC)

محمود نوری زاده

دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین

زمستان ۸۸

ماشین‌های کنترل عددی (CNC)

فهرست منابع:

۱- خودآموز برنامه نویسی و اپراتوری ماشین‌های CNC– مهندس سیدجلال حقی – نشر آونگ (مثلث نارنجی)

۲- برنامه نویسی ماشین‌های کنترل عددی کامپیوتری CNC – مهندس روح الله پناهی – نشر سایه گستر

۳- مقدمه ای بر ماشین‌های کنترل عددی – مهندس محمد حمیدی – انتشارات مفتون همدانی

۴- برنامه نویسی ماشین‌های کنترل عددی CNC –دکترسیدمحسن صفوی– جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان

۵- اصول برنامه نویسی و کاربردی ماشین‌های CNC، Gکد (سینومریک، فانوک)، هایدن‌هاین، AC، APT - مهندس حامد غلامی – انتشارات متفکران – زمستان ۸۱

ارزش یابی:

۱- پایان ترم : ۱۵ نمره

۲- تمرین و پرژه : ۵ نمره

سر فصل مطالب :

۱- اتوماسیون و به کارگیری کامپیوتر در طراحی و ساخت

۲- معرفی ماشین‌های CNC

۳- اجزای اصلی ماشین‌های CNC

۴- مبانی برنامه‌نویسی ماشین‌های CNC

۵- برنامه نویسی CNC

فصل اول:

اتوماسیون و به کارگیری کامپیوتر در طراحی و ساخت

مفاهیم اصلی:

۱- CAD / CAM

۲- CIM

۳- FMS

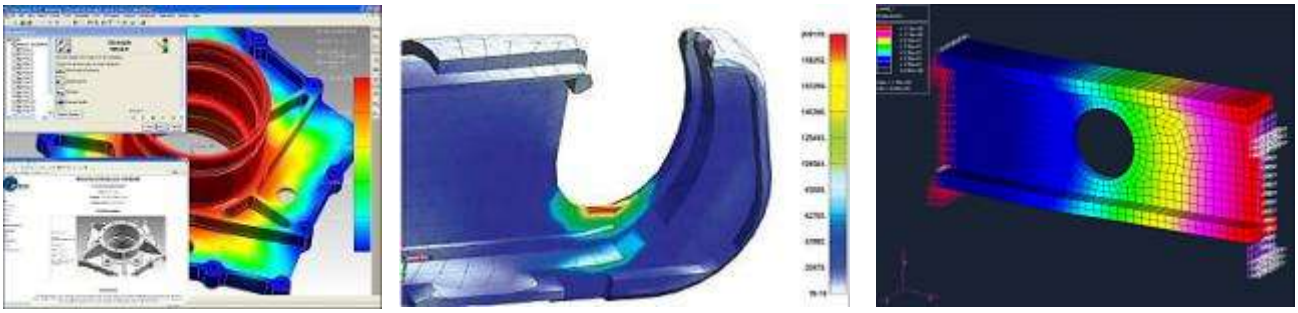
۱-۱- طراحی به کمک کامپیوتر(CAD[1])

طراحی به کمک کامپیوتر شامل موارد زیر است:

۱- بکارگیری کامپیوتر در طراحی مهندسی (نرم‌افزارهای MDT، Solidworks، CATIA و ...)

۲- بکارگیری کامپیوتر در انجام محاسبات و تحلیل‌ها (نرم افزارهای FEM مثل Abaqus، Ansys و...، نرم افزارهای محاسبات ریاضی مثل MATLAB، Maple و ...)

۳- بکارگیری کامپیوتر در انجام ترسیمات (Auto CAD و...)



شکل ۱-۱- نمونه‌هایی از بکارگیری کامپیوتر در انجام محاسبات و تحلیل‌ها (در نرم افزارهای FEM)

مزایای طراحی به کمک کامپیوتر عبارت است از:

۱- پیاده سازی طرح‌های پیچیده

۲- عدم نیاز به طراحی مجدد قطعات تکراری و امکان استفاده از قطعات از پیش طراحی شده

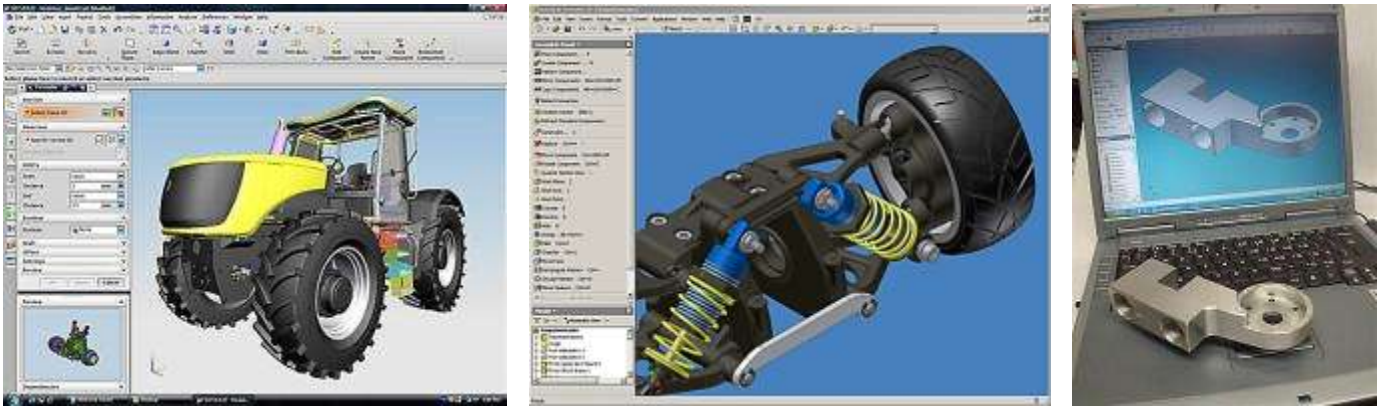
۳- امکان آنالیز طرح‌های پیچیده که آنالیز دستی آنها غیرممکن یا مشکل است.

۴- سادگی اعمال تغییرات طراحی در نقشه‌ها

۵- کاهش زمان، کاهش خطا و افزایش دقت در طراحی

---

[1] Computer Aided Design



شکل ۱-۲- نمونه‌هایی از بکارگیری کامپیوتر در طراحی قطعات و ماشین‌های پیچیده

۱-۲- تولید به کمک کامپیوتر (CAM[۲])

تولید به کمک کامپیوتر شامل موارد زیر است:

۱- انتخاب ماشین ابزار، ابزارهای برشی و شرایط برشی

۲- طراحی و انتخاب قید و بندها

۳- تهیه برنامه‌های ماشین‌های CNC و ربات‌ها

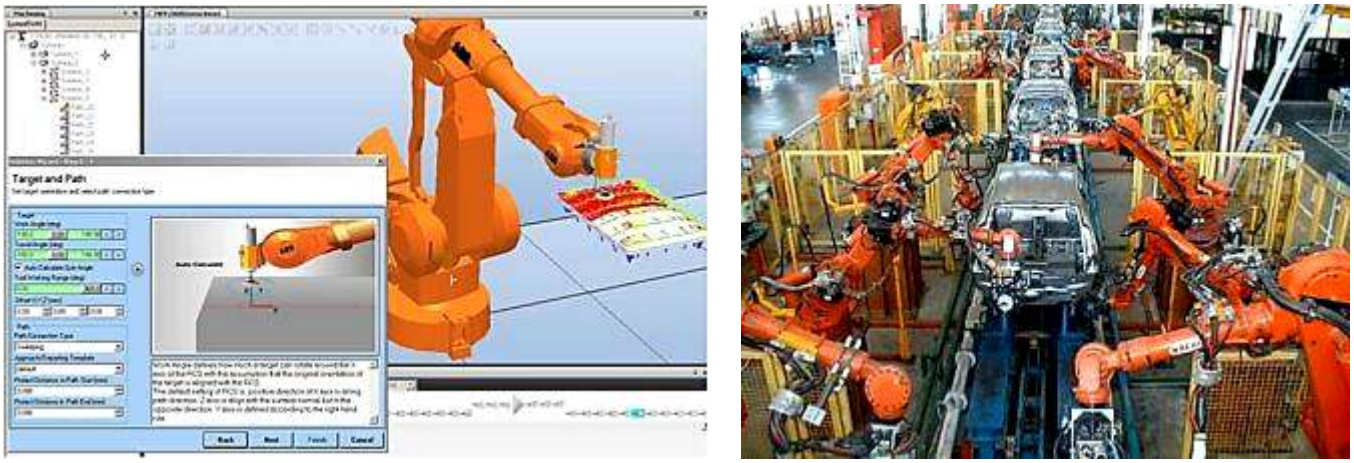
۴- طراحی نحوه چیدمان ماشین آلات در کارخانه

۵- برنامه ریزی تولید

۶- انبارداری، جابجایی و کنترل مواد و ابزارها

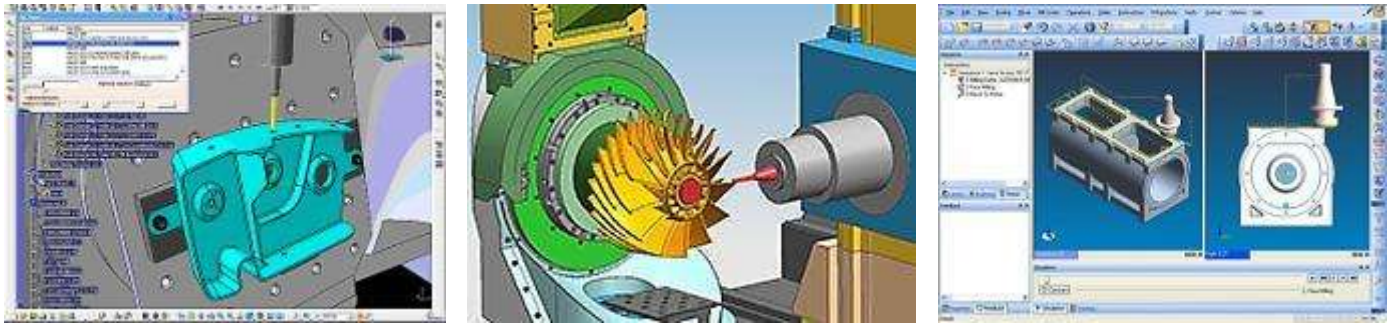
۷- بازرسی محصول و کنترل کیفیت

رایج ترین نرم افزارهای مورد استفاده برای تولید به کمک کامپیوتر عبارت است از: CATIA، Edge Cam، Shopmill، CNCEZ، Wintrain، Anvil و...



شکل ۱-۳- کاربرد CAM در تهیه برنامه‌های ربات‌ها

[2] Computer Aided Manufacturing



شکل ۱-۴- کاربرد کامپیوتر در تهیه برنامه‌های CNC

۱-۳- انواع اتوماسیون

۱-۳-۱- اتوماسیون ثابت[3]

در اتوماسیون ثابت، مراحل تولید و چیدمان ماشین آلات به نحوی است که تنها می توان یک نوع محصول را تولید کرد. کارخانه خودرو سازی قدیمی Ford (اولین خط تولید خودرو)، پتروشیمی‌ها و پالایشگاه‌ها از جمله موارد استفاده از اتوماسیون ثابت در تولید هستند.

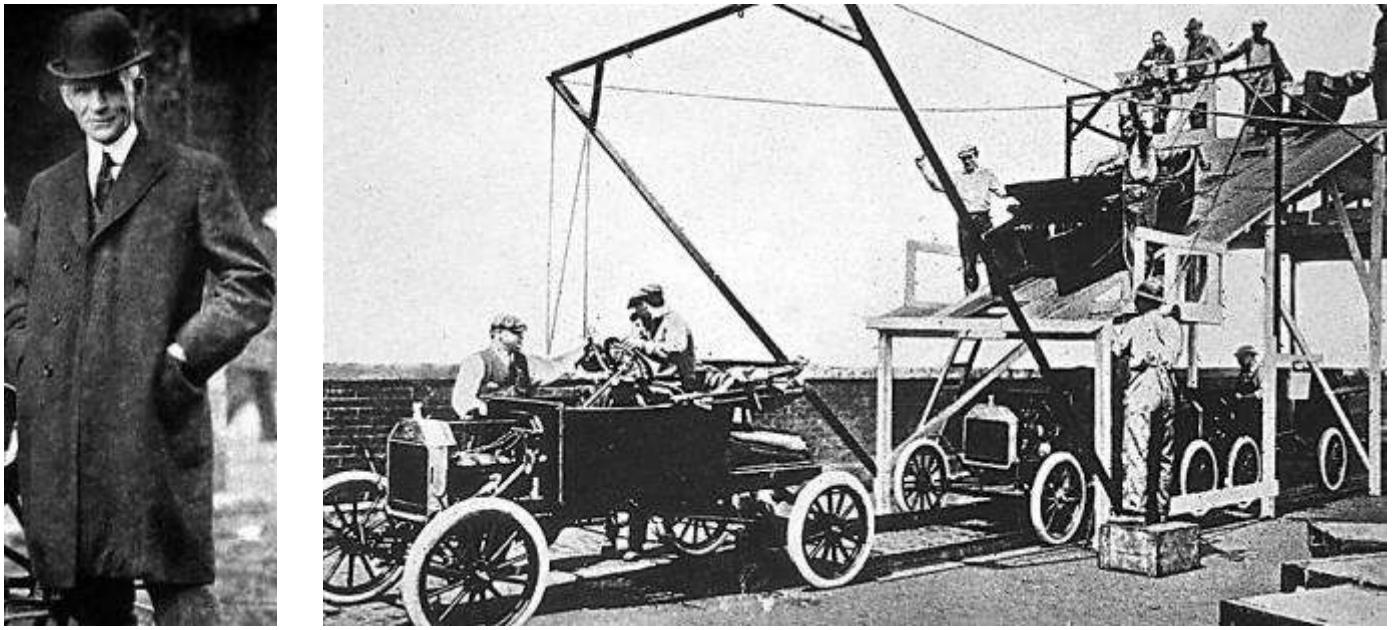
ویژگی‌های اصلی اتوماسیون ثابت عبارت است از:

۱- سرمایه اولیه بالا

۲- حجم تولید بالا

۳- انجام عملیات‌های ساده در ایستگاه‌های کاری

۴- غیرقابل انعطاف



شکل ۱-۵- انتهای خط مونتاژ خودرو در کارخانه قدیمی Ford

[3] Fixed Automation

۱-۳-۲- اتوماسیون قابل برنامه ریزی[۴]

در این نوع اتوماسیون امکان تولید محصولات متنوع وجود دارد. ویژگی‌های اتوماسیون قابل برنامه ریزی عبارت است از:

۱- سرمایه اولیه نسبتا زیاد

۲- توانایی تولید قطعات مختلف هم خانواده

۳- امکان تغییر مراحل تولید

۴- امکان تولید دسته‌ای قطعات (سری کاری)

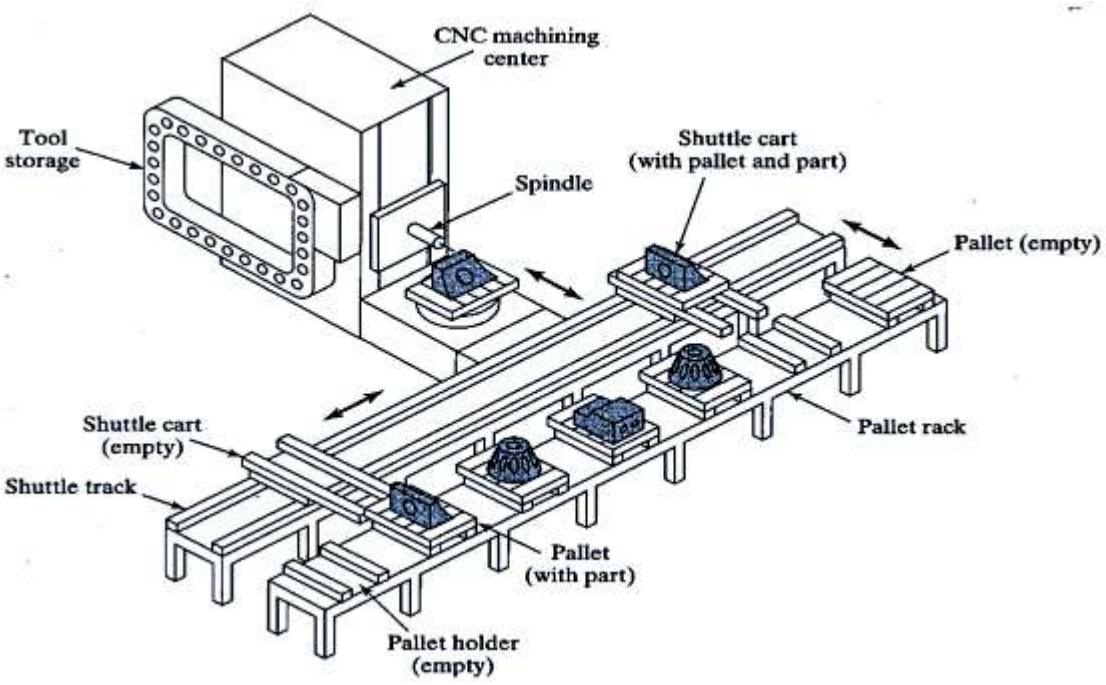
۵- سرعت تولید پائین تر در مقایسه با اتوماسیون ثابت

۱-۳-۲-۱- سطوح اتوماسیون قابل برنامه ریزی

اتوماسیون قابل برنامه ریزی از سه سطح تشکیل شده است که به ترتیب از ساده ترین سطح عبارت است از:

۱- اتوماسیون تک ماشین[۵]

مشتمل بر یک ماشین CNC (مرکز ماشینکاری[۶]) به همراه یک سیستم انبارش قطعات[۷] است.

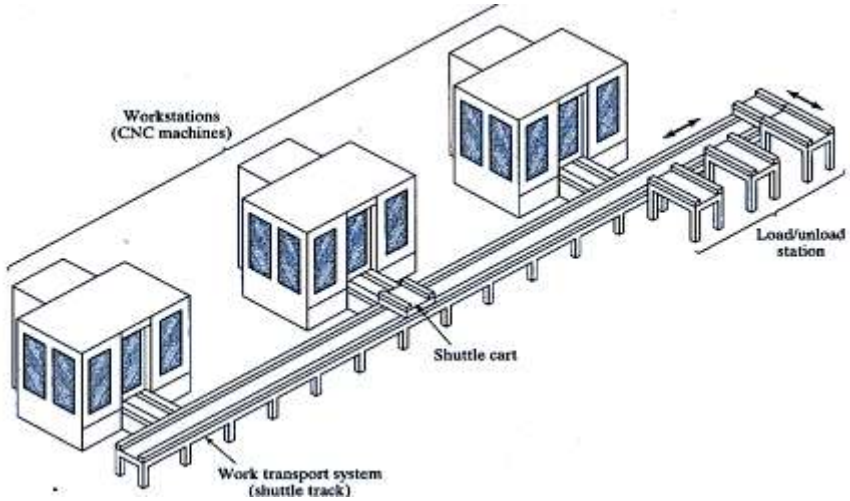


شکل ۱-۶- اتوماسیون تک ماشین (SMC)

[4] Programmable Automation
[5] Stand Alone Automation Or Single Machine Cell
[6] Machining Center
[7] Parts Storage System

۲– سلول تولید انعطاف پذیر[8] (FMC)

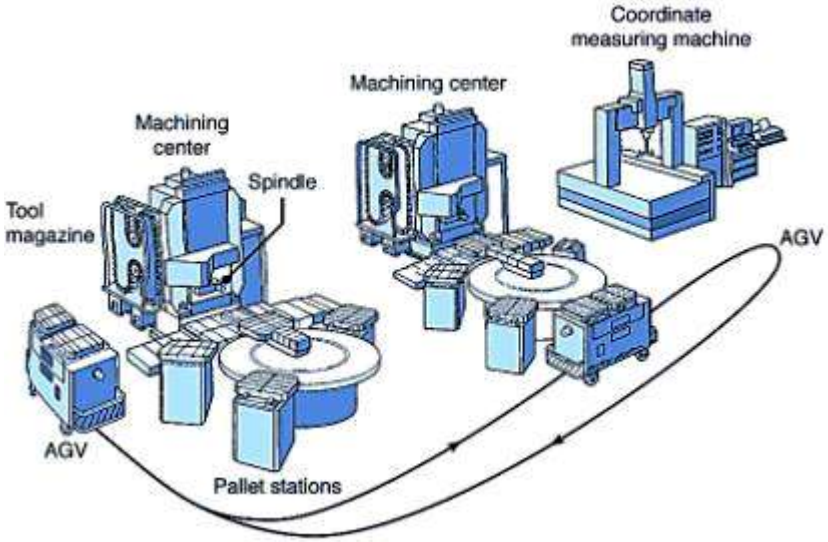
سلول تولید انعطاف پذیر مشتمل بر دو یا سه ایستگاه کاری (عموماً مراکز ماشینکاری CNC)، یک سیستم اتوماتیک گذاشتن قطعه خام در دستگاه و برداشتن قطعه آماده شده[9] و یک سیستم حمل قطعات[10] است.



شکل ۱–۷– سلول تولید انعطاف پذیر (FMC)

۳– سیستم تولید انعطاف پذیر[11] (FMS)

مجموعه ای است از ماشین‌های اتوماتیک هستند که به کمک یک سیستم خودکار انتقال مواد به هم متصل شده اند و توانایی تولید قطعات هم خانواده را دارا می باشند. این سیستم توسط کامپیوتر کنترل می شود و توانایی انجام کار بدون حضور اپراتور برای حداقل یک شیفت کاری (۸ ساعت) را دارا می باشد. بنابراین در سیستم تولید انعطاف پذیر یا FMS، ایستگاه‌های کاری با استفاده از یک سیستم انتقال مواد به صورت مکانیکی و به کمک یک سیستم توزیع یافته کامپیوتری به صورت الکترونیکی به یکدیگر متصل شده اند.



شکل ۱–۸– شماتیک یک نمونه سیستم تولید انعطاف‌پذیر با دو عدد مرکز ماشینکاری، یک ایستگاه بازرسی و اندازه‌گیری و یک AGV

---

[8] Flexible Manufacturing cell
[9] Load/Unload Station
[10] Part Handling System
[11] Flexible Manufacturing System

۱-۳-۲-۲- مشخصه‌های FMS

مشخصه‌های زیر سیستم‌های تولید انعطاف پذیر را متمایز می کند:

۱- استفاده از ماشین‌های اتوماتیک (کنترل عددی)

۲- مجهز بودن به سیستم خودکار انتقال مواد و قطعات

۳- کنترل با کامپیوتر مرکزی

۴- قابلیت تولید قطعات هم خانواده با ترتیب تصادفی

۵- اتصال ماشین‌ها به یکدیگر

۶- انعطاف پذیری

شکل ۱-۹- یک نمونه FMS با ۵ ماشین ابزار در شرکت Cincinnati

۱-۳-۲-۳- سخت افزار FMS

سیستم‌های تولید انعطاف پذیر دارای اجزای سخت افزاری زیر می باشند:

۱- ماشین‌های CNC

۲- پالت‌های نگهدارنده قطعات در ماشین آلات وسیستم تعویض پالت‌ها

۳- تجهیزات حمل مواد (ربات، AGV [۱۲])

۴- سیستم مرکزی تخلیه براده و خنک کاری

۵- CMM [۱۳]

۶- ایستگاه تمیزکاری قطعات

۷- تجهیزات سخت افزاری کامپیوتر

---

[12] Automatic Guided Vehicle
[13] Cordiates Measuring Machine

شکل ۱-۱۰- دو نمونه AGV (سمت راست خط یاب، وسطی لیزری)

شکل ۱-۱۱- دستگاه اندازه‌گیری مختصات (CMM) نوع تماسی (راست) و نوع غیرتماسی (چپ)

شکل ۱-۱۲- سیستم تعویض پالت‌ها

شکل ۱-۱۳- سیستم تخلیه براده

شکل ۱-۱۴- کانوایرهای انتقال مواد خام و قطعات (نوع غلتکی ثقلی)

۱-۳-۲-۴- نرم افزار FMS:

سیستم‌های تولید انعطاف پذیر دارای نرم افزارهای زیر می باشند:

۱- برنامه‌های کنترل عددی

۲- نرم افزار مدیریت جابجایی و حمل و نقل قطعات و مواد

۳- نرم افزار CMM

۴- پایگاه داده ابزارها و قطعات تولیدی

۵- نرم افزار FMS

۱-۴- نحوه چیدمان ماشین آلات

به طور کلی ماشین‌های ابزار به سه روش در کارخانجات در کنار هم چیده می شوند:

۱-۴-۱- بر اساس عملیات کاری (Function)

یعنی مثلا کلیه ماشین‌های تراش در یک محل، فرز در یک محل، سنگ زنی دریک محل و... گردآوری شوند. که در این صورت لازم است مدام قطعات را بین کارگاههای مختلف جابجا کنیم.

شکل ۱-۱۵- نیاز به جابجایی قطعات میان کارگاه‌های مختلف در چیدمان ماشین‌آلات براساس عملیات کاری

۱-۴-۲- چیدمان ماشین آلات در خط تولید (Line)

در این صورت حمل ونقل و جریان قطعات در میان ماشین آلات آسانتر می شود ولی انعطاف پذیری پائین می آید.

۱-۴-۳- چیدمان سلولی (Cell)

تعدادی از ماشین آلات که مورد نیاز برای تولید خانواده ای از قطعات هستند در کنار هم قرار می گیرند و جابجایی قطعه را به حداقل می رسانند. چیدمان سلولی از دو چیدمان قبلی انعطاف پذیری بیشتری دارد و در FMS از این نوع چیدمان استفاده میشود.

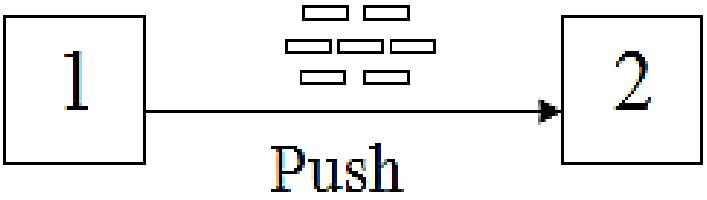
شکل ۱-۱۶- نیاز به حداقل جابجایی در چیدمان سلولی

۱-۵- تولید سر وقت[14] (JIT)

تولید سر وقت یا JIT ، یک استراتژی تولیدی است که توسط ژاپنی‌ها ارائه شده و اهداف زیر را دنبال می کند:

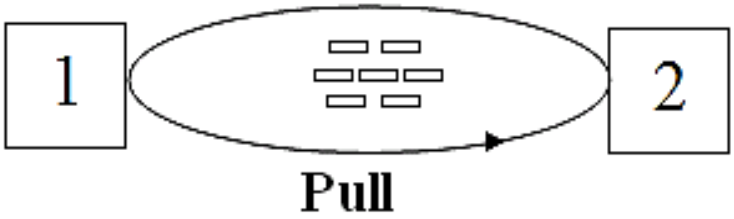
- هدف اصلی JIT تولید و تحویل به موقع قطعات با کیفیت خوب و قیمت پائین و دقیقاً به تعداد مورد نیاز است.
- قطعات مورد استفاده (خریداری شده از بیرون یا تولید شده در داخل کارخانه) دقیقاً در هنگام نیاز به آنها تهیه شوند. (نه خیلی زود و نه خیلی دیر)
- با کاهش موجودی انبار، کیفیت محصول افزایش و زمان تحویل آن کاهش یابد.

روش‌های معمول تولید دسته‌ای از نوع پیش فشار (Push system) هستند یعنی قطعاتی که در مرحله قبل خریداری یا تولید شده اند به مرحله بعدی تحویل داده می شوند.



شکل ۱-۱۷- نمایش شماتیک تولید دسته‌ای از نوع پیش فشار

اما JIT یک روش پس کشش (Pull system) است یعنی در صورتی که در مرحله ای از تولید به قطعه‌ای نیاز باشد از مرحله قبلی، قطعه تقاضا می شود تا تولید یا خریداری شود.

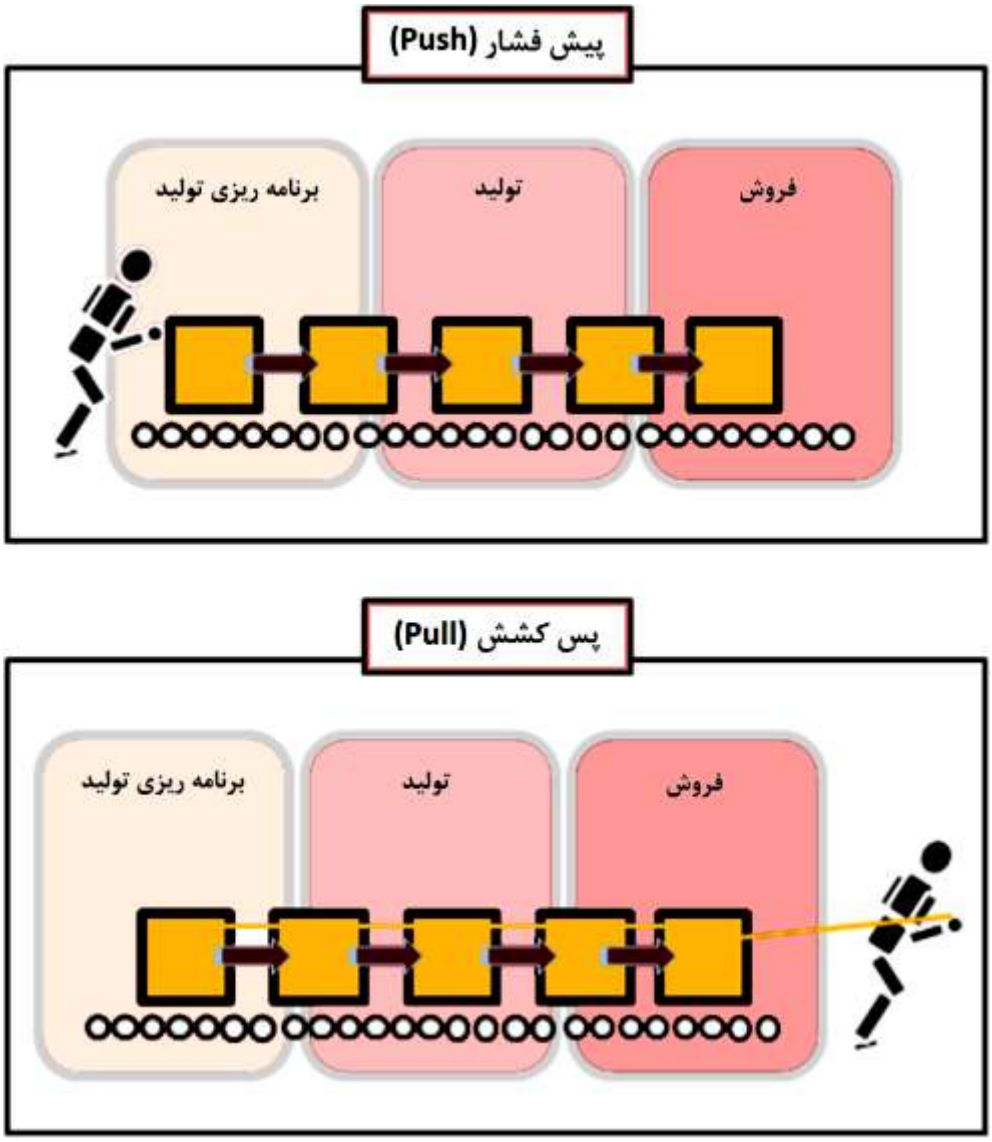


شکل ۱-۱۸- نمایش شماتیک تولید دسته‌ای از نوع پس کشش

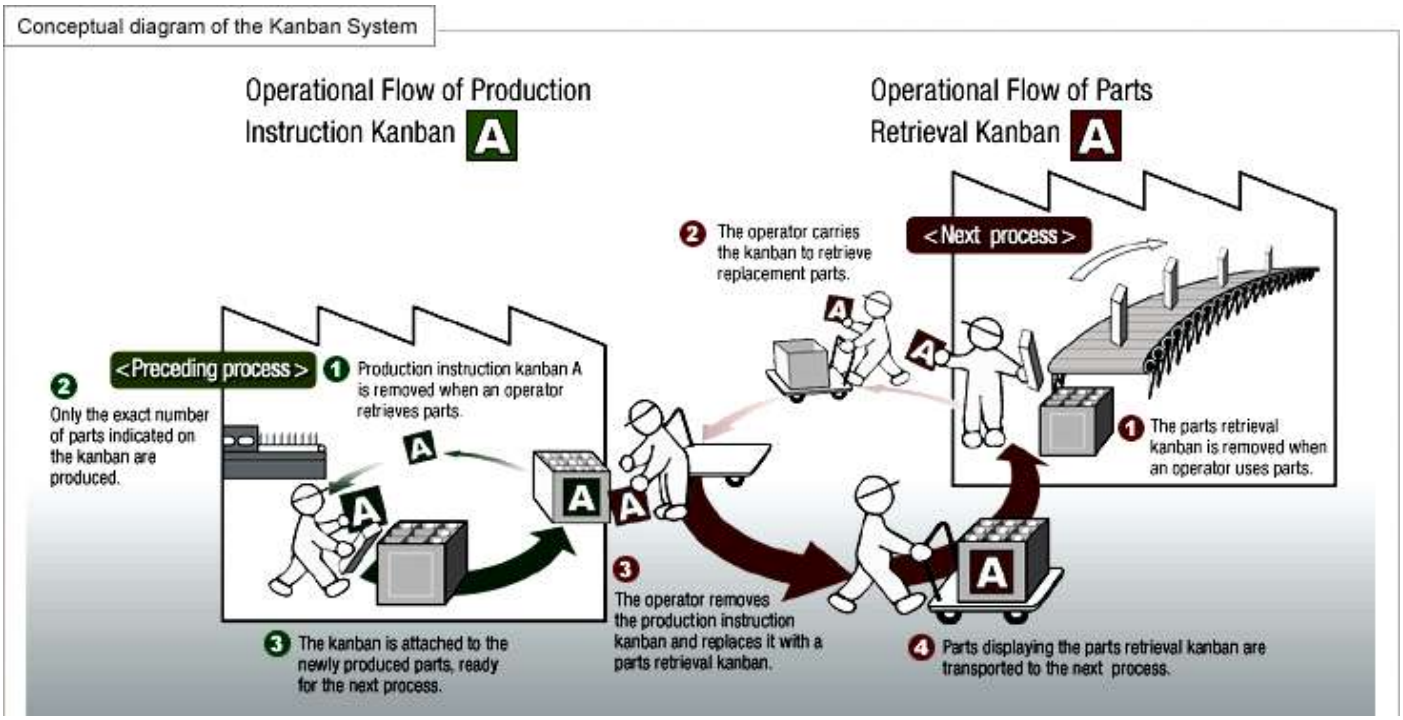
در JIT در صورتی که ایستگاه بعدی نیاز به قطعه نداشته باشد در ایستگاه قبلی قطعه‌ای خریداری یا تولید نمی شود هر چند اپراتورها یا ماشین‌ها بیکار بمانند. برای تولید قطعه یا خرید آن در یک ایستگاه نیاز به مجوزی (Kanban) است که در ایستگاه بعدی صادر می شود. اجرای صحیح JIT پیش زمینه ای است برای رسیدن به FMS و می توان JIT و FMS را همزمان پیاده سازی کرد.

---

[14] Just In Time Manufacturing



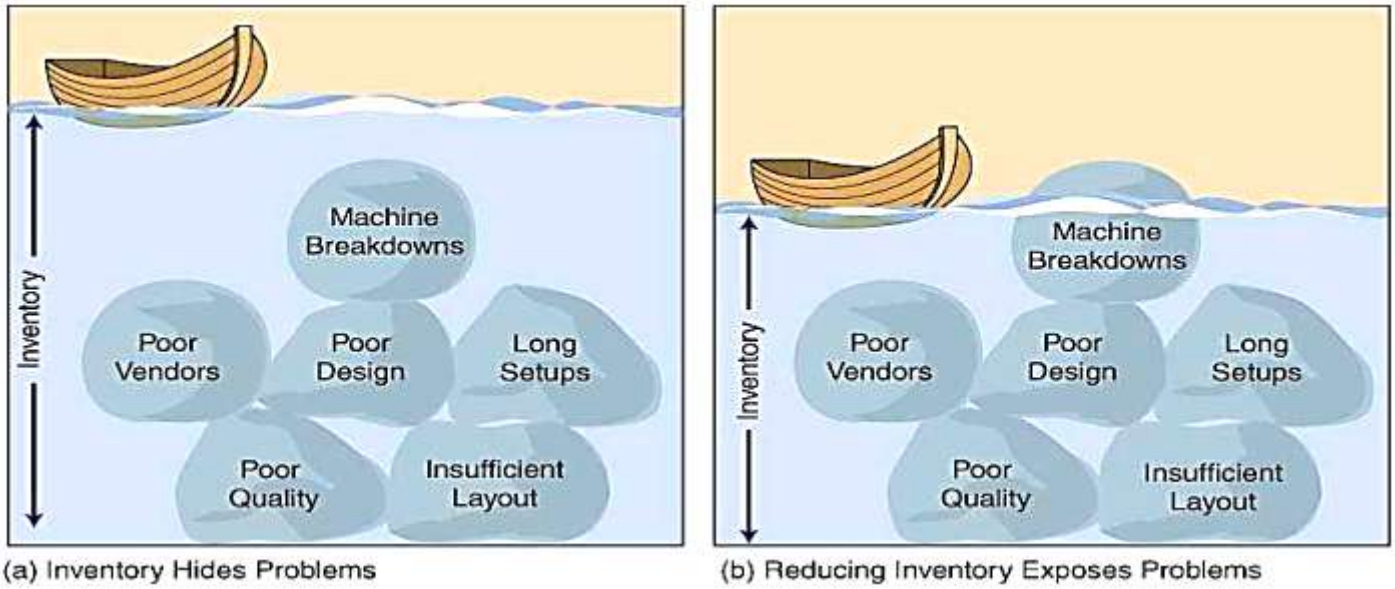
شکل ۱-۱۹- نمایش شماتیک مفاهیم پیش فشار و پس کشش



شکل ۱-۲۰- نمایش شماتیک اجرای JIT با استفاده از Kanban (شرکت TOYOTA)

۱–۶– انباشتگی کالا در انبار

برخلاف JIT در سیستم های تولیدی با انبارداری انباشته، این انباشتگی کالا در انبار، عیوب سیستم تولید را پنهان می کند و درصورت کاهش محتویات انبار عیوب سیستم خود را نشان خواهند داد. عیوب سیستم عیوبی هستند مانند از کار افتادن مکرر ماشین آلات، زمان طولانی تنظیم ماشین آلات، ضعف تامین کننده‌های قطعات، طراحی ضعیف محصول، کیفیت پایین قطعات، فضای تولیدی ناکافی که انبارش زیاد قطعات را به مجموعه تولیدی تحمیل می کنند و ... .



شکل ۱-۲۱- نمایش شماتیک نحوه پنهان سازی عیوب سیستم تولیدی با انباشته کردن قطعات در انبار

۱–۷– تکنولوژی گروهی[15] (GT)

تکنولوژی گروهی به مساله گروهبندی قطعات به منظور افزایش بهره وری می پردازد. گروهبندی قطعات به دو روش صورت می گیرد :

۱–۷–۱– گروهبندی قطعات بر مبنای مشخصه‌های طراحی

گروهبندی قطعات بر مبنای مشخصه‌های طراحی دارای ویزگی‌های زیر است:

- از طراحی مجدد قطعات مشابه جلوگیری می کند.
- با کاهش تنوع قطعات هزینه‌های تولید را کاهش می دهد.

۱–۷–۲–گروهبندی قطعات بر مبنای فرآیند تولید

گروهبندی قطعات بر مبنای فرآیند تولید دارای ویزگی‌های زیر است:

- قطعات با فرآیند تولید مشابه در یک گروه قرار می گیرند.

---

[15] Group Technology

- متناظر با خانواده‌های قطعات، ماشین‌آلات نیز در گروه‌های مختلف قرار می گیرند.
- نسبت به گروهبندی بر مبنای طراحی، بهره‌وری را بیشتر بالا می برد.

۱-۸- جایگاه ماشین‌های کنترل عددی در تولید

یکی از عوامل تاثیرگذار در استفاده از ماشین‌های CNC تیراژ تولید است. براین اساس مراکز تولیدی به سه دسته تقسیم می شوند :

۱-۸-۱- تولید انبوه (Mass production)

خطوط تولید خودرو و قطعات آن نمونه‌ای از این نوع تولید است. مشخصه‌های اصلی تولید انبوه عبارت است از:

- استفاده از ماشین آلات ویژه
- نیاز به اپراتور با مهارت‌های پائین

۱-۸-۲-تولید تکی (Jop shop production)

از این نوع تولید در قالب سازی، نمونه سازی و... استفاده می شود. مشخصه‌های اصلی تولید تکی عبارت است از:

- تعداد سفارش (تیراژ) بسیار پائین
- تنوع قطعات تولیدی و تنوع فرآیندها بسیار زیاد (تنوع عملیات تولیدی)
- استفاده از ماشین‌های اونیورسال
- نیاز به اپراتور با مهارت بالا

۱-۸-۳- تولید دسته‌ای (Batch production)

تقریباً ۷۵٪ کل محصولات تولیدی در جهان در دسته‌های ۵۰ تایی و کمتر تولید می شوند که تولید دسته‌ای نامیده می‌شود. مشخصه‌های اصلی تولید دسته‌ای عبارت است از:

- تیراژ تولید متوسط
- تشکیل دسته‌های مشابه قطعات
- بدلیل محدودیت تنوع کاری و تیراژ متوسط از ماشین‌های نیمه اتوماتیک مثل تراش تارت، کپی تراش و ... استفاده می شود.
- قابلیت تنظیم مجدد نسبتاً سریع ماشین آلات حائز اهمیت است.
- نیاز به اپراتور نیمه ماهر دارد.

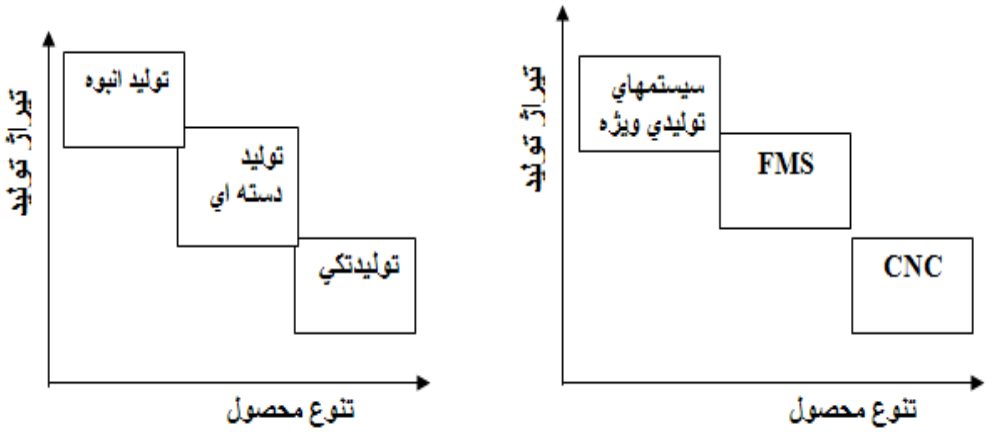
۱-۹- جایگاه ماشین‌های CNC

در مراکز تولیدی با توجه به اینکه در کدام دسته قرار می‌گیرند، از ماشین‌آلات اتوماتیک متفاوتی استفاده می‌شود:

۱- **تولید انبوه**: استفاده از روش‌های مکانیکی و PLC برای اتوماسیون

۲- **تولید دسته‌ای**: استفاده از ماشین‌های CNC در ایستگاههای کاری (FMS)

۳- **تولید تکی**: استفاده از ماشین‌های CNC به همراه سایر ماشین‌های سنتی



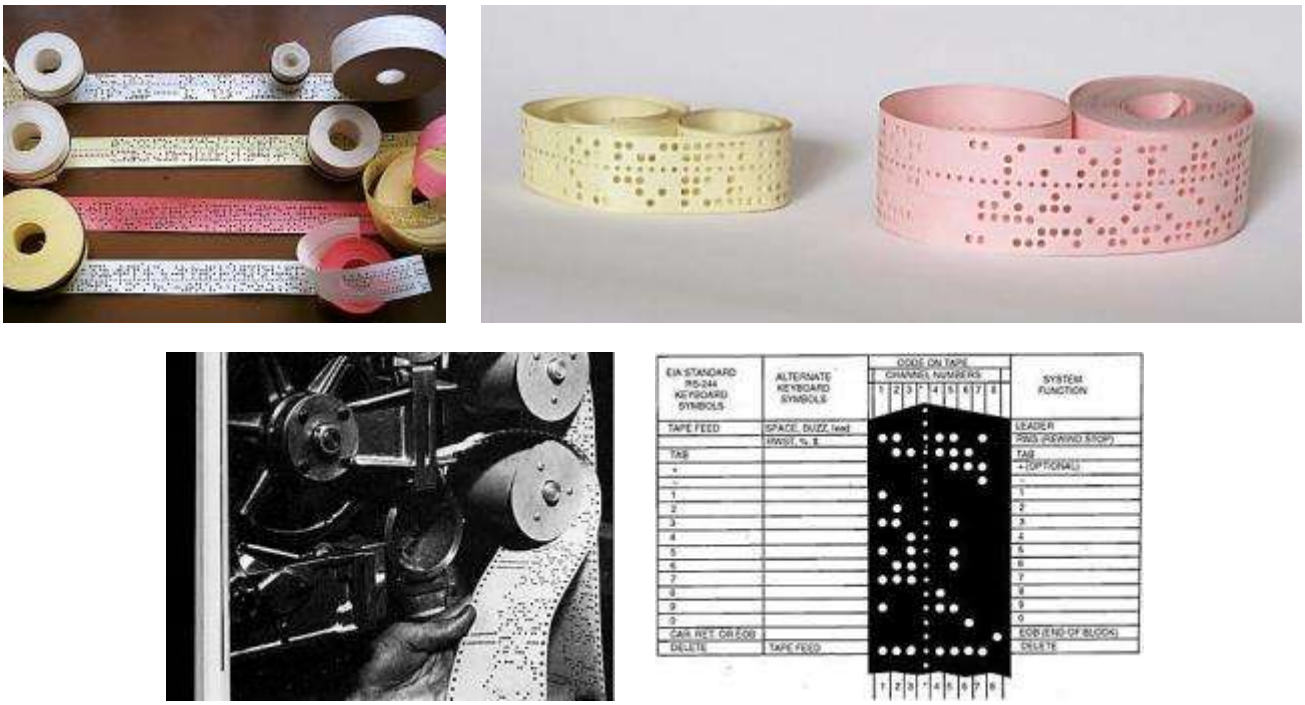
شکل ۱-۲۲- نمودار ارتباط تنوع محصول و تیراژ تولید با سیستم و نوع تولید

فصل دوم:

معرفی ماشین‌های CNC

۲-۱- سیر پیشرفت ماشین‌های CNC

اولین ماشینی که توسط اعداد و علائم کنترل شد یک ماشین بافندکی در سال ۱۷۲۵ میلادی بود که توسط کارتهای سوراخدار کنترل می شد. در خلال جنگ جهانی دوم، نیروی هوایی امریکا برای ساخت هواپیماها و موشک‌های جدید نیازمند سیستمی بود که بتواند قطعات پیچیده را تولید کند و تغییرات طراحی را نیز به سرعت در فرآیند ساخت اعمال نماید. بدین سبب قراردادی با شرکت Parsons جهت ساخت یک ماشین فرز منعقد شد (۱۹۴۹). این شرکت نیز طی قراردادی، طراحی و ساخت اولین ماشین فرز NC را به بخش تحقیقات سرومکانیزم‌های دانشگاه MIT واگذار کرد. بدین ترتیب اولین ماشین کنترل عددی NC در سال ۱۹۵۲ ساخته شد. ماشین‌های NC اولیه شامل سه قسمت عمده **برنامه**، **واحد کنترل ماشین**[1] و **ماشین ابزار** بود. در این ماشین‌ها ابتدا برنامه مورد نیاز تهیه و سپس با استفاده از **دستگاه پانچ نوار**[2] با ایجاد سوراخهایی در یک نوار کاغذی، برنامه به نوار منتقل می شد. پس از قرار دادن نوار سوراخدار در بخش **نوارخوان**[3] ماشین، اطلاعات برنامه خوانده شده و به واحد کنترل ماشین (MCU) منتقل می شد. در MCU اطلاعات برنامه تفسیر شده و یکسری علائم الکتریکی تولید و به موتورهای محرکه ماشین جهت انجام حرکت ارسال می شد.



شکل۲-۱- نوار سوراخدار

[1] Machine Control Unit
[2] Tape Punch
[3] Tape Reader

۲-۲- کاستی‌های ماشین‌های NC

ماشین‌های NC دارای کاستی‌های زیر بودند:

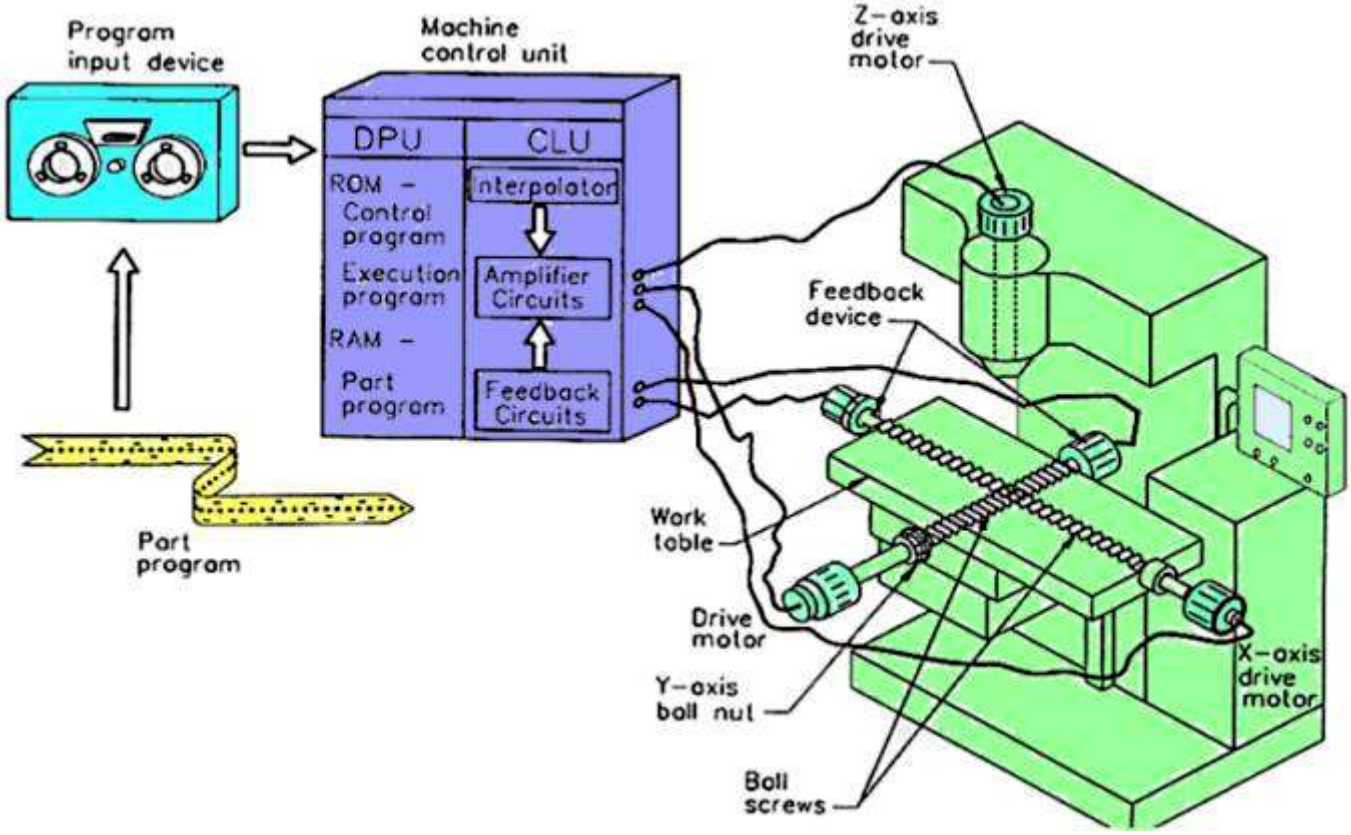
۱- اشتباهات زیادی در آماده سازی نوار حاوی برنامه رخ می داد.

۲- نوارهای کاغذی، روشی نامطمئن برای انتقال اطلاعات بودند.

۳- واحد نوارخوان، اشکالات زیادی پیدا می کرد.

۴- بر روی ماشین، امکان هیچ گونه تغییری در برنامه نبود.

۵- امکان جمع آوری اطلاعات مدیریتی تولید (تعداد قطعات تولید شده، طول زمان ماشینکاری و...) وجود نداشت.



شکل۲-۲- اجزای ماشین‌های NC

۲-۳- کنترل عددی مستقیم (DNC[۴])

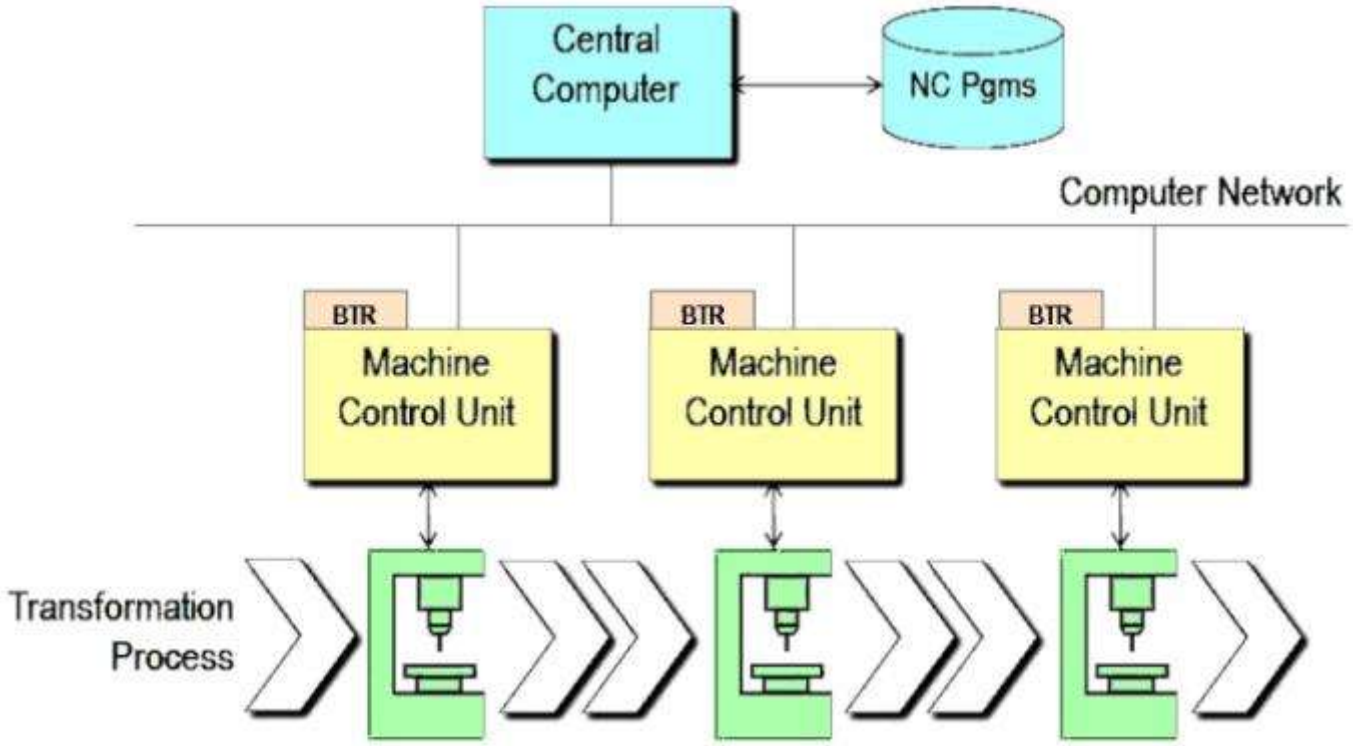
در دهه ۱۹۶۰ میلادی، استفاده از کامپیوترهای بزرگ برای حل مشکلات ماشین‌های NC مطرح شد. بدین ترتیب امکان کنترل حدود ۱۰۰ ماشین توسط کامپیوتر مرکزی فراهم شد.

---

[4] Direct Numerical Control

۲-۳-۱-اجزای سیستم DNC

شامل کامپیوتر مرکزی، حافظه نسبتاً حجیم، خطوط ارتباطی و ماشین‌های ابزار بود. برنامه مورد نیاز هر ماشین توسط کامپیوتر مرکزی در اختیار آنها قرار می گرفت و اطلاعات مدیریتی از آنها جمع آوری می شد. گاهی تعدادی کامپیوتر محلی برای کمک به کامپیوتر مرکزی و تحت پوشش آن برای کنترل تعدادی ماشین بکار گرفته می شد.

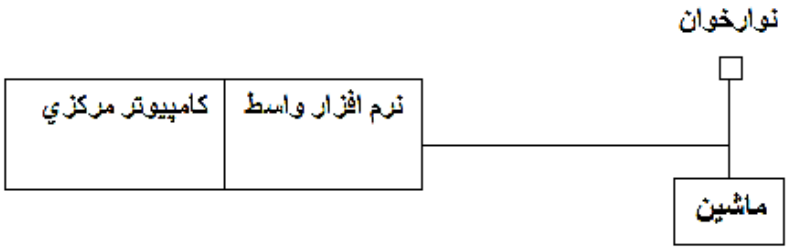


شکل۲-۳- اجزای سیستم DNC

۲-۳-۲- ارتباط کامپیوتر مرکزی و ماشین‌ها در سیستم DNC

۱- بعد از نوارخوان (Behind Tape Reader)

برنامه‌های خروجی کامپیوتر مرکزی توسط یک نرم‌افزار واسط به فرمت مشابه خروجی نوارخوان تبدیل و به جای خروجی نوارخوان به واحد کنترل ماشین متصل می شد.



شکل۲-۴- ارتباط کامپیوتر مرکزی و ماشین‌ها در سیستم DNC به شیوه بعد از نوارخوان BTR

۲- واحد کنترل ویژه (Special MCU)

با پیشرفت ماشین‌های NC، امکان ارتباط با کامپیوتر مرکزی بدون نیاز به نرم‌افزار واسط در آنها بوجود آمد. در سیستم کنترل جدید این ماشین‌ها، بسیاری از قابلیت‌هایی که پیش از این به صورت سخت‌افزاری و در قالب مدارهای خاص وجود داشت به شکل نرم‌افزاری پیاده‌سازی شد.

شکل۲-۵- مقایسه کنترل سخت‌افزاری و نرم‌افزاری

در ماشین‌های امروزی از ترکیبی از هر دو نوع کنترل استفاده می شود. حرکت‌های ساده بصورت سخت افزاری کنترل می‌شود و حرکت‌های پیچیده بصورت نرم افزاری تبدیل به مجموعه‌ای از حرکت‌های ساده می شود.

۲-۳-۳- برتری‌های سیستم‌های DNC در مقایسه با ماشین‌های NC

سیستم‌های DNC در مقایسه با ماشین‌های NC دارای برتری‌های زیر بودند:

۱- کنترل همزمان چند ماشین توسط کامپیوتر

۲- استفاده از قدرت محاسباتی کامپیوتر

۳- ارتقاء توانایی‌های ماشین

۴- حذف نوار کاغذی و نوارخوان

۵- جمع آوری اطلاعات مدیریتی و تهیه گزارش‌های مختلف

۲-۳-۴- کاستی‌های DNC

سیستم‌های DNC دارای کاستی‌های زیر بودند:

۱- نیاز به فراهم نمودن محیط مناسب بمنظور نگهداری کامپیوتر مرکزی به دور از محیط کار ماشین

۲- با توجه به اینکه دستورات کنترل ماشین بصورت خط‌به‌خط از کامپیوتر مرکزی به ماشین‌ها ارسال می شود درصورت بروز هرگونه مشکل یا اختلالی در کار کامپیوتر مرکزی، کلیه ماشین‌های ابزار از کار می افتد.

۳- تنها بصورت یکجا و یکپارچه می توان آن را راه‌اندازی کرد و در نتیجه سرمایه اولیه بالایی نیاز دارد.

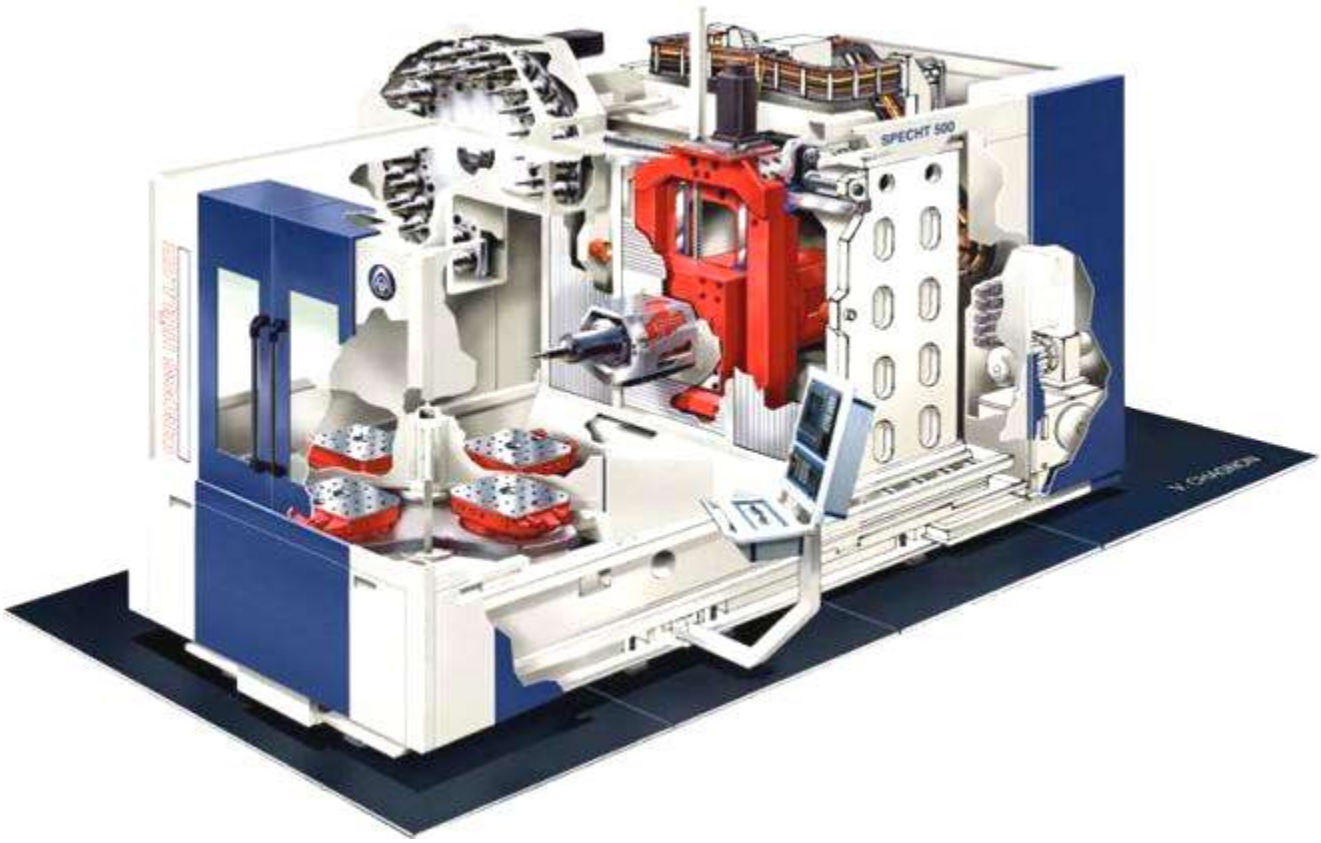
۲-۴- کنترل عددی کامپیوتری (CNC[5])

با پیشرفت صنعت الکترونیک و عرضه میکروکامپیوترها (کامپیوترهای کوچک) در دهه ۱۹۷۰، امکان استفاده از کامپیوتر برای کنترل ماشین‌های ابزار بصورت منفرد فراهم شد. بنابراین با اضافه شدن کامپیوتر به ماشین‌های NC، ماشین‌های CNC اولیه ساخته شدند.

اجزای این ماشین‌های جدید عبارت بوده است از:

- نوارخوان
- حافظه ای برای نگهداری برنامه‌ها
- میکروکامپیوتر و نرم افزارها
- سخت افزاری که ارتباط کامپیوتر و ماشین را فراهم می کرد.
- ماشین ابزار

نوارخوان وظیفه انتقال برنامه‌ها به حافظه ماشین را برعهده داشت و با یک بار انتقال، برنامه‌ها از روی حافظه اجرا می شدند. در نسل‌های بعد، به تدریج نوارخوان از ماشین‌های CNC حذف شد.



شکل۲-۶- نمایش اجزای یک نمونه مرکز ماشینکاری[6] CNC امروزی

[5] Computer Numerical Control
[6] CNC Machining Center

۲-۴-۱-برتری‌های ماشین‌های CNC

ماشین‌های CNC دارای برتری‌های زیر هستند:

۱- برای هر برنامه، فقط یکبار نیاز به استفاده از نوارخوان بود و بخش عمده مشکلات ناشی از نوارخوان حذف شد.

۲- اصلاح و تغییر برنامه و پارامترهای آن به کمک کامپیوتر به سادگی قابل انجام بود.

۳- با استفاده از کامپیوتر، توانایی‌های ماشین ارتقاء یافت.

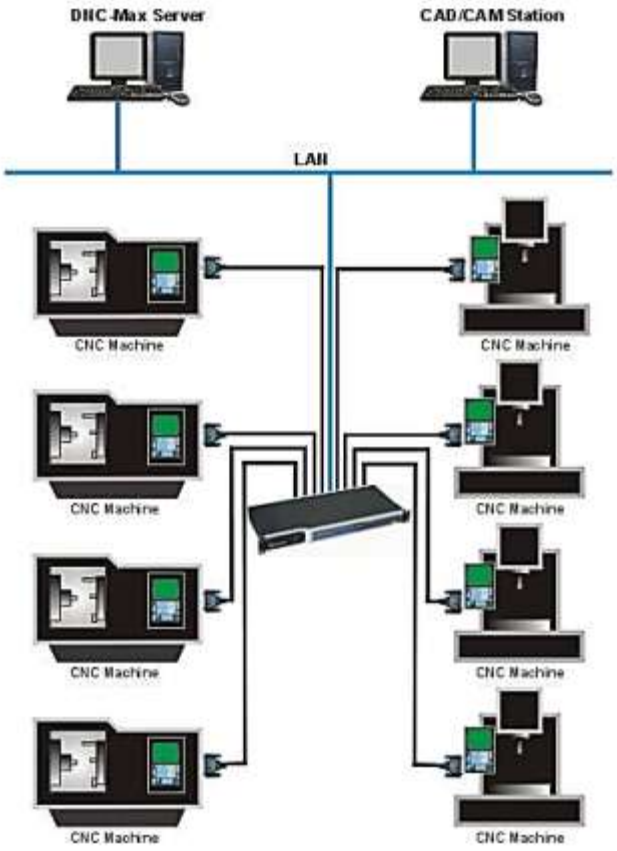
۴- امکان انجام محاسبات مختصاتی توسط کامپیوتر فراهم شد.

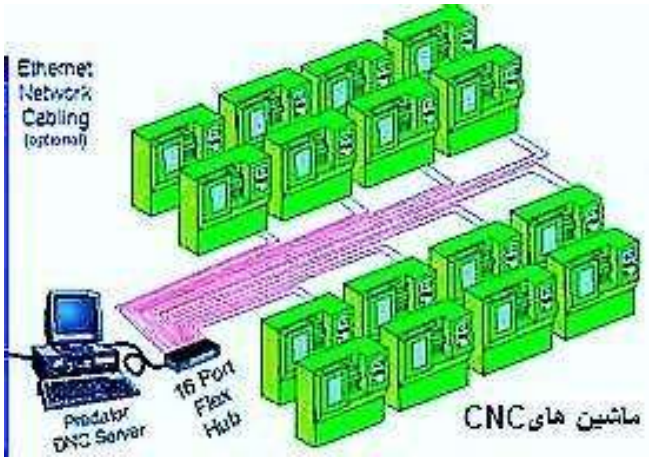
۵- ارتباط ماشین با سیستم‌های کامپیوتری تسهیل شد.

۶- برای نگهداری کامپیوتر نیاز به اختصاص مکان بزرگی نیست.

۲-۵- کنترل عددی توزیع یافته (DNC[۷] یا DCNC[۸])

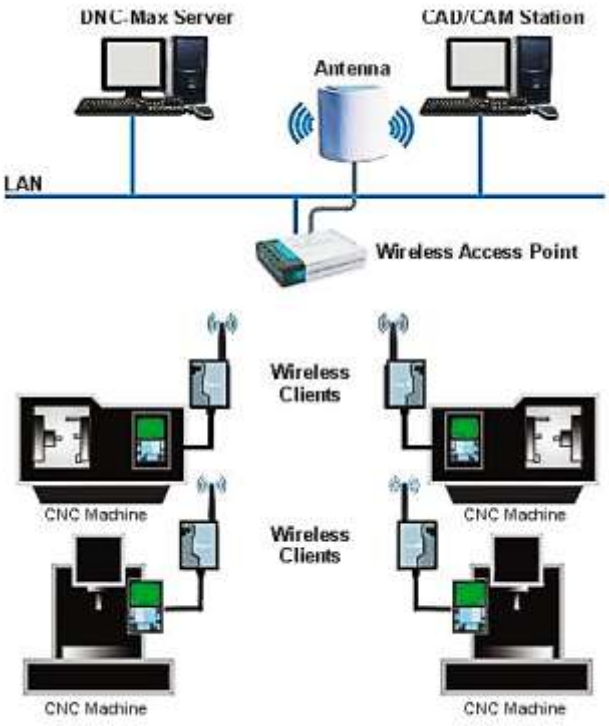
با استفاده از کامپیوتر در ماشین‌های CNC، ارتباط ماشین‌ها با یک کامپیوتر مرکزی و کنترل همزمان آنها تسهیل شد. بدین ترتیب دیگر نیازی به ارسال خط به خط برنامه به ماشین نبود و برنامه‌ها بصورت کامل از کامپیوتر مرکزی به حافظه ماشین‌ها منتقل و اجرا می شد.





شکل۲-۷- سیستم DCNC امروزی

[7] Distributed Numerical Control
[8] Direct CNC



شکل۲-۸- سیستم DCNC مدرن با استفاده از ارتباط کامپیوتری بیسیم[9]

۲-۵-۱-برتری‌های (DCNC)

سیستم‌های DCNC دارای برتری‌های زیر هستند:

۱- حذف کامل نوار و نوارخوان از روی ماشین‌های ابزار و انتقال برنامه از طریق ارتباطات کامپیوتری

۲- در صورت از کارافتادی کامپیوتر مرکزی، ماشین‌ها بلافاصله از کار نخواهند افتاد.

۳- امکان طراحی و نصب سیستم در چند فاز و کاهش سرمایه اولیه مورد نیاز

۴- امکان پیاده سازی FMS و استفاده از روش‌های CAD/CAM

۲-۵-۲-مقایسه اجزاء سیستم‌ها

مشخصه‌های اصلی چهار سیستم NC، CNC، DNC و DCNC برای مقایسه در زیر آمده‌است.

شکل۲-۹- مقایسهٔ مشخصه‌های اصلی چهار سیستم NC، CNC، DNC و DCNC

[9] Wireless

۲–۶– تفاوت‌های ماشین‌های CNC و NC

اصلی ترین تفاوت‌های ماشین‌های CNC و NC عبارت است از:

۱- استفاده از کامپیوتر در ماشین‌های CNC

۲- تفاوت در خواندن برنامه: در ماشین‌های NC، برنامه خط به خط خوانده می شود ولی در ماشین‌های CNC تمام خطوط برنامه خوانده می شود و سپس بصورت خط به خط اجرا می شود. بنابراین در صورت وجود اشتباهی در یکی از خطوط برنامه، واحد کنترل پیش از اجرا قادر به تشخیص آن خواهد بود.

۳- تست و شبیه سازی گرافیکی اجرای برنامه در ماشین‌های CNC امکان پذیر است.

۴- برنامه نویسی پارامتریک: استفاده از سیکل‌ها برای انجام عملیات‌های تکراری، برنامه نویسی CNC را ساده‌تر از NC نموده است.

۵- اصلاح برنامه: به کمک نرم افزار CNC امکان پذیر است (برخلاف NC).

۶- جبران شعاع ابزار: این قابلیت در ماشین‌های CNC وجود دارد و حجم محاسبات حین برنامه نویسی را بطور قابل توجهی کاهش می دهد.

۷- سادگی ارتباط با سیستم‌های کامپیوتری در ماشین‌های CNC

۲–۷– کاربرد CNC در ماشین‌های ابزار :

تعدادی از ماشین‌هایی که توسط CNC قابل کنترل هستند در زیر لیست شده اند:

۱– ماشین های فرز
۲– ماشین های تراش
۳– ماشین های سوراخکاری(دریل)
۴– ماشین های داخل تراشی (بورینگ)
۵– ماشین های سنگ زنی
۶– ماشین های برش (اره)
۷– ماشین های جوشکاری
۸– ماشین های برشکاری با شعله
۹– ماشین های پرسکاری (پانچ)
۱۰– ماشین های چرخدنده تراشی (هاب)
۱۱– ماشین های برش واترجت
۱۲– ماشین های برش وایرکات واسپارک
۱۳– ماشین های برش لیزری
۱۴– ماشین های الکتروشیمیایی
۱۵– ماشین های لوله خم کنی
۱۶– ماشین های اندازه گیری مختصات سه بعدی(CMM)

فصل سوم:

اجزای اصلی ماشین‌های CNC

اجزای اصلی ماشین‌های CNC به دو بخش تقسیم می شوند:

۱- واحد کنترل ماشین

۲- اجزای مکانیکی و برقی

شکل۳-۱- ماشین فرز CNC درحال ماشینکاری پوسته موتور

۳-۱- واحد کنترل ماشین

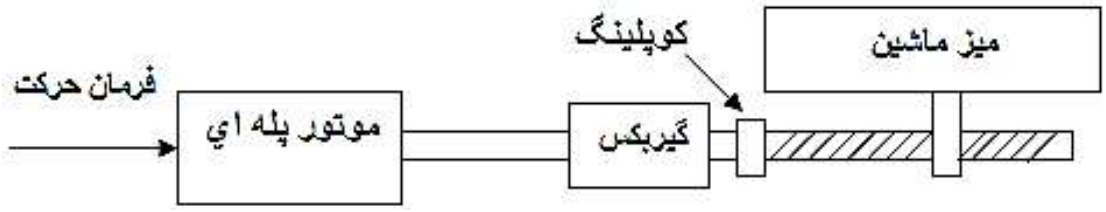
انواع سیستم کنترل مورد استفاده در ماشین‌های CNC عبارت است از:

۳-۱-۱- سیستم کنترل مدار باز[1]

در این نوع سیستم کنترل، میزان جابجایی هر محور به دقت تعیین و به موتورها ارسال می‌شود ولی سیستم قادر به بررسی صحت موقعیت محور در مسیر نیست. یعنی اطلاعات لازم در مورد وضعیت محور، در هر لحظه به سیستم کنترل ارسال

[1] Open Loop Control

نمی‌شود و اگر در موقعیت محور خطایی رخ دهد، سیستم کنترل قادر به کشف و رفع آن نیست. در این نوع سیستم تجهیزات اندازه گیری و مونیتورینگ وجود ندارد، به همین دلیل سیستم کنترل مدار باز ارزان قیمت تر از سیستم کنترل مدار بسته می باشد. کاربرد این نوع سیستم محدود به ماشین‌های CNC آموزشی کوچک است.



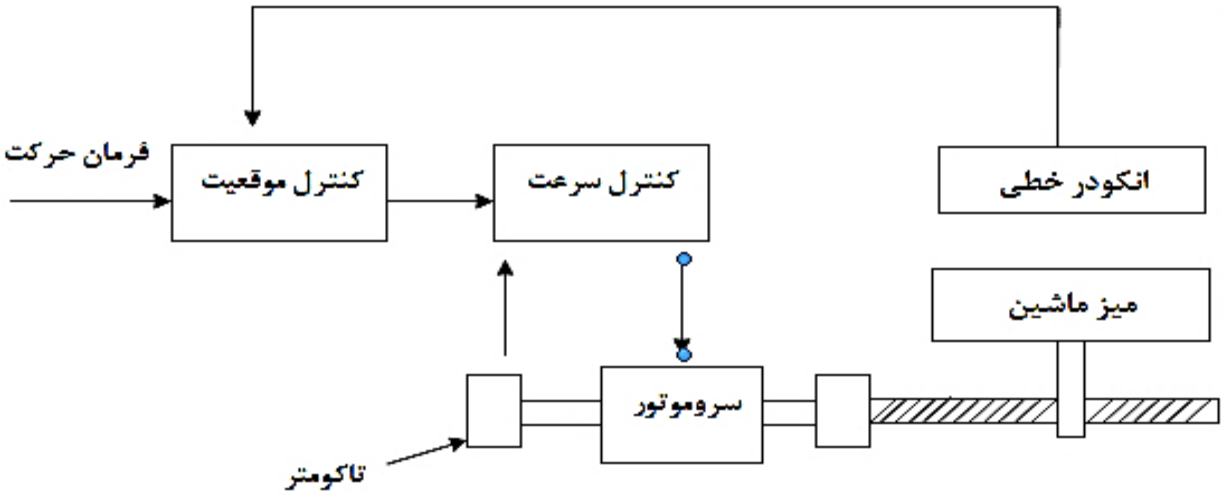
شکل۳-۲- سیستم کنترل مدار باز

۳-۱-۲- سیستم کنترل مدار بسته[۲]

در این نوع سیستم کنترل، موقعیت هر محور مرتباً توسط یک دستگاه به دقت اندازه گیری می شود و اطلاعات آن جهت مقایسه با موقعیت مطلوب و اصلاح در صورت نیاز، به سیستم کنترل ارسال می شود. ارسال اطلاعات به کنترلر توسط سنسورها را فیدبک (بازخورد) می‌گویند. معمولاً دو نوع فیدبک در سیستم‌های مدار بسته کنترلر ماشین CNC مورد نیاز است:

الف- فیدبک سرعت دورانی موتور

ب- فیدبک موقعیت اسلایدر



شکل۳-۳- سیستم کنترل مدار بسته

واحد کنترل از اجزا و قطعات الکترونیکی و سخت افزاری تشکیل شده است که دستورات برنامه را خوانده و به اعمال مکانیکی ماشین ابزار تبدیل می کند. شرکت‌های عمدهٔ سازنده کنترلرهای ماشین‌های CNC در جدول زیر آمده است.

---

[2] Closed Loop Control

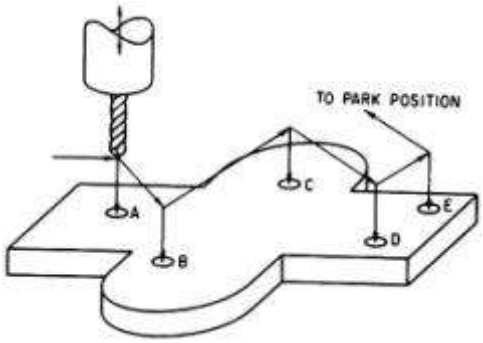
	نام شرکت	کشور سازنده	نام تجاری کنترلر
۱	شرکت Siemens	آلمان	سازنده کنترلرهای Sinumerik (810 / 840D)
۲	شرکت Fanuc	آمریکا	16/160i - 21/210i
۳	شرکت Heidenhain	آلمان	سازنده کنترلرهای TNC (TNC 530)
۴	شرکت Philips	هلند	
۵	شرکت EMCO	اتریش	
۶	شرکت Cincinati	انگلستان	
۷	شرکت Grundig	آلمان	
۸	شرکت Cadilac	آمریکا	
۹	شرکت Mazak	ژاپن	
۱۰	شرکت Host	تایوان	
۱۱	شرکت Fidia	ایتالیا	

۳-۱-۳- روش‌های کنترل در ماشین‌های CNC

۱- کنترل نقطه به نقطه (مکانی)

در کنترل نقطه به نقطه، ابزار به نقطه مورد نظر رفته و عملیات ماشینکاری را انجام می دهد. عملیات ماشینکاری در مسیر بین دو نقطه انجام نمی شود، بلکه بعد از رسیدن ابزار به نقطه هدف انجام می گیرد و حرکت بین دو نقطه با سرعت زیاد انجام می گیرد. کاربرد این روش کنترل در ماشین‌های مته، پانچ و نقطه جوش است.

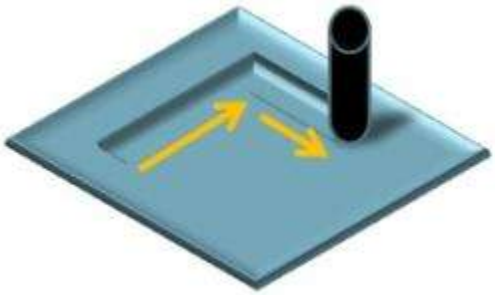
شکل۳-۴- کنترل نقطه به نقطه (مکانی)



شکل۳-۵- کاربرد کنترل نقطه به نقطه (مکانی) در سوراخکاری

۲- کنترل تراش مستقیم

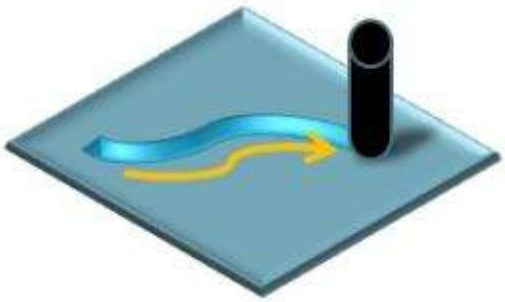
در این روش کنترل، ابزار می تواند به موازات هر یک از محورها بطور مستقل و جدا از دیگری با پیشروی قابل کنترل حرکت کند. این روش کنترل قادر به انجام عملیات‌های نقطه به نقطه نیز می باشد. مثال : پله تراشی، جوشکاری مستقیم و....



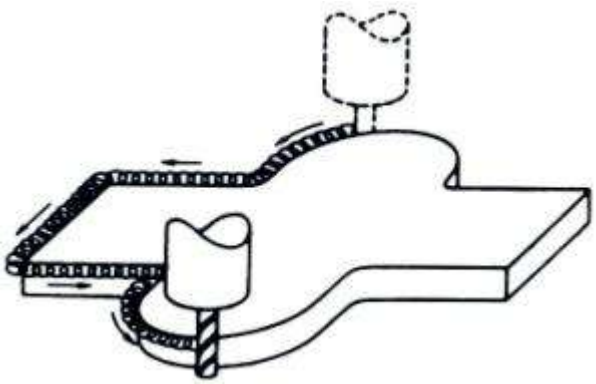
شکل۳-۶- کنترل تراش مستقیم

۳- کنترل پیوسته

این روش کنترل، گرانترین و پیچیده ترین نوع کنترل است. این روش قابلیت حرکت دادن همزمان بیش از یک محور را دارا می باشد. سطوح شیبدار و منحنی‌ها را با ماشین‌های دارای این نوع کنترل می توان تولید کرد.



شکل۳-۷- کنترل پیوسته



شکل۳-۸- کاربرد کنترل پیوسته در فرزکاری

۳-۲- اجزا مکانیکی و برقی ماشین‌های CNC

۳-۲-۱-بدنه یا بستر ماشین[3]

عضوی از ماشین است که سایر اجزا روی آن سوار می شود، لذا باید بسیار مستحکم و مقاوم در برابر ارتعاشات و حرارت باشد تا بتواند شتاب‌ها و سرعت‌های بالا را تحمل کند. عمدتاً از چدن خاکستری سختکاری شده و در بعضی موارد خاص با استفاده از سرامیک یا گرافیت ساخته می شود.

۳-۲-۲- اسلایدرها[4]

صفحات صاف، سخت و دقیقی هستند که ابزارگیر یا میز روی آنها به کمک رولربرینگ و سیستم روغنکاری می لغزد. برای کاهش اصطکاک، اسلایدرها پوشش داده می شوند و یا روی لایه نازکی از روغن یا بالشی از هوا حرکت می کنند. دقت مکانیکی ماشین به دقت ساخت و مونتاژ این سطوح وابسته است.

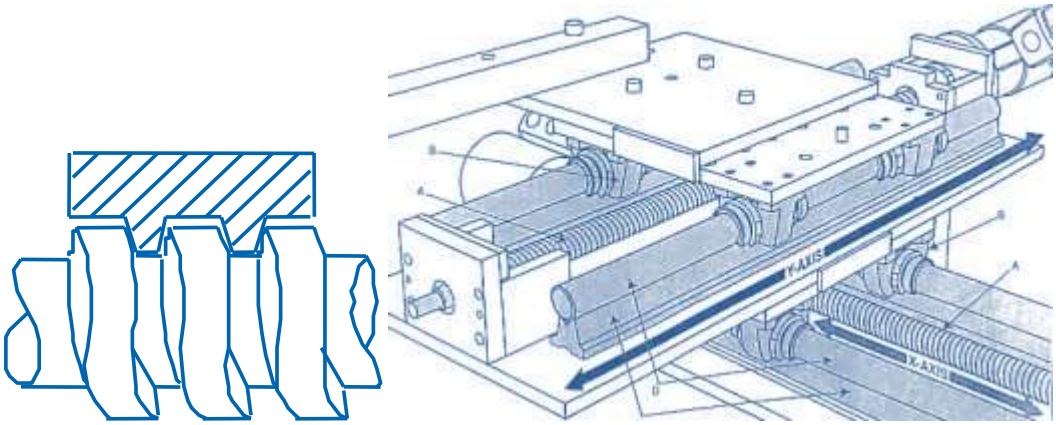
۳-۲-۳- مکانیزم تبدیل حرکت دورانی به خطی

۳-۲-۳-۱- پیچ ساچمه‌ای[5]

در ماشین‌های سنتی برای جابجایی محورها معمولاً از سیستم پیچ و مهره استفاده می‌شود. با پیچاندن پیچ به میزان یک دور کامل، مهره به اندازه طول یک گام تغییر مکان می‌دهد. در این ماشین‌ها از پیچ و مهره‌هایی با رزوه‌های ذوزنقه‌ای استفاده می‌شود که دارای لقی (Backlash) زیادی هستند. این لقی هنگام برگشت محور در جهت مخالف، مشکلاتی را ایجاد می‌کند. در ضمن به علت افزایش اصطکاک و سائیدگی، کاهش لقی هم امکان‌پذیر نیست.

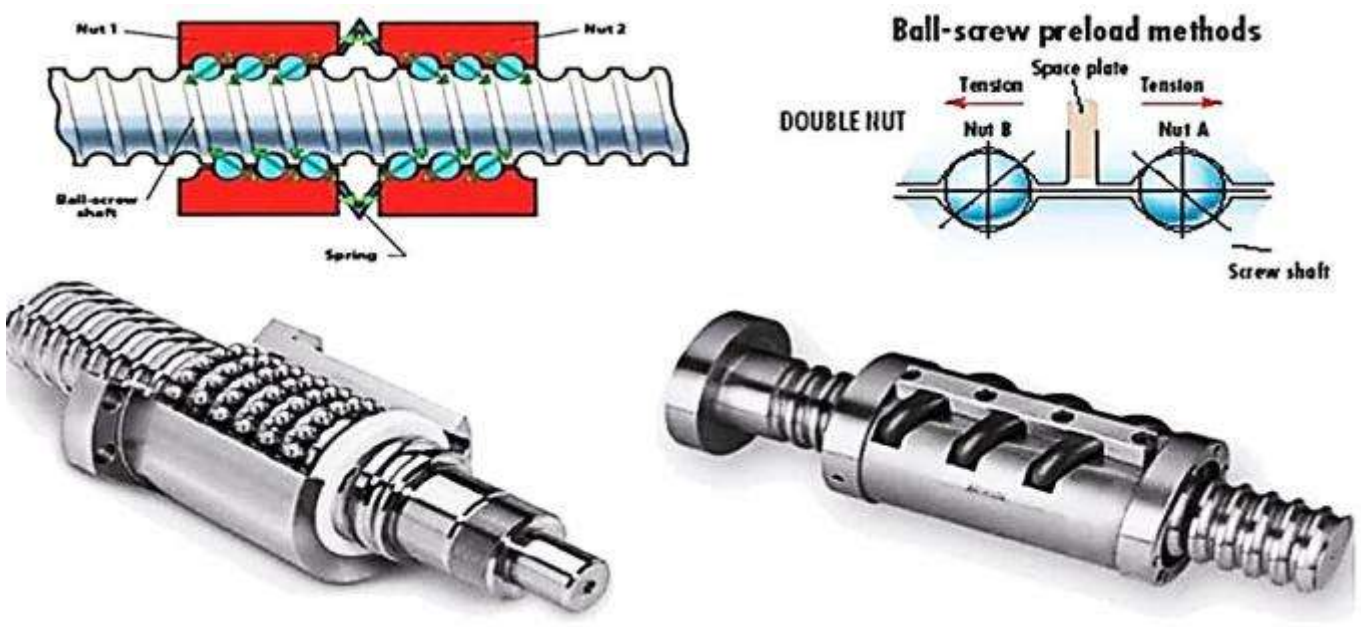
---

[3] Machine Bed
[4] Sliders
[5] Ball Screw



شکل۳-۹- مکانیزم تبدیل حرکت دورانی به خطی در ماشین‌های سنتی (پیچ و مهره ذوزنقه‌ای)

در ماشین‌های CNC از پیچ و مهره‌ای استفاده می‌شود که فاصلهٔ بین پیچ و مهره با یک ردیف ساچمهٔ دقیق پرشده‌است. معمولاً مهره این نوع پیچ‌ها دوتکه است و با تنظیم فاصله میان دو تکهٔ مهره می‌توان لقی را به حداقل رساند. بدین ترتیب بین پیچ و مهره عمل غلتش صورت می‌گیرد نه لغزش، و اصطکاک بسیار کاهش می‌یابد. با استفاده از این پیچ و مهره‌ها دقت حرکت به 0.001 mm خواهد رسید.



شکل۳-۱۰- مکانیزم تبدیل حرکت دورانی به خطی از نوع پیچ ساچمه‌ای

بنابراین مزایای سیستم تبدیل حرکت دورانی به خطی بکمک پیچ ساچمه‌ای عبارت است از:

۱- اصطکاک و سائیدگی کمتر

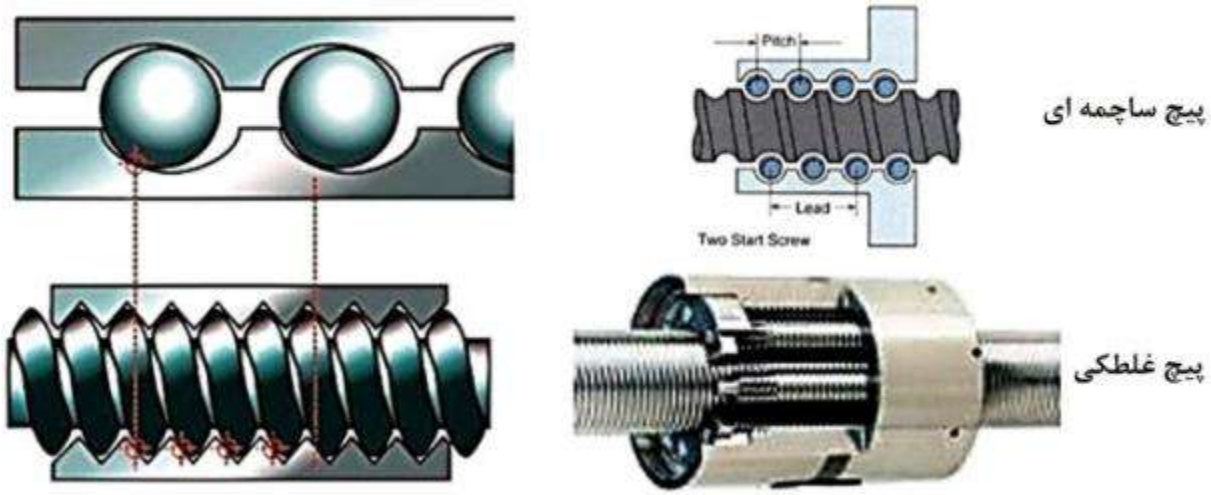
۲- دقت بالاتر

۳- نیروی کمتر برای پیشروی

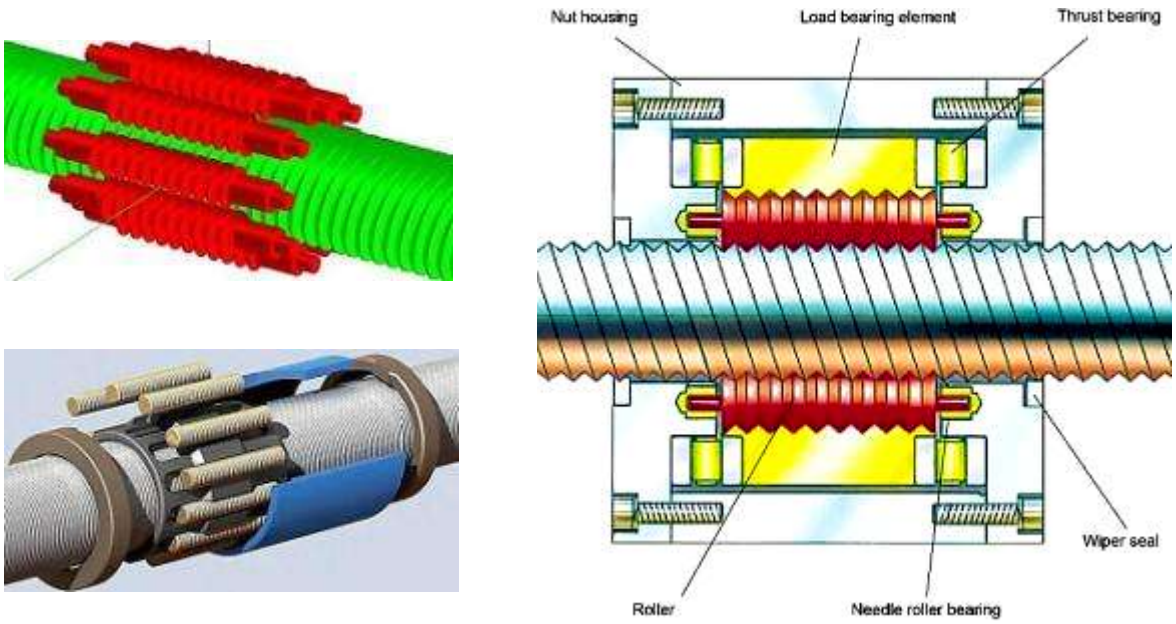
۴- کاهش و تقریباً حذف لقی

۳-۲-۳-۲- پیچ غلطکی[۶]

این نوع پیچ‌ها عملکردی مشابه پیچ‌های ساچمه‌ای دارند با این تفاوت که به جای ساچمه از غلطک استفاده می‌شود. بدین ترتیب تماس نقطه‌ای ساچمه‌ها تبدیل به تماس خطی غلطک‌ها می‌شود و با کاهش تنش‌های لهیدگی، عمر مفید را افزایش می‌دهد. عموماً عمر مفید پیچ غلطکی حدود ۱۰ برابر پیچ ساچمه‌ای است.



شکل۳-۱۱- تفاوت سطح تماس در پیچ‌های ساچمه‌ای و غلطکی

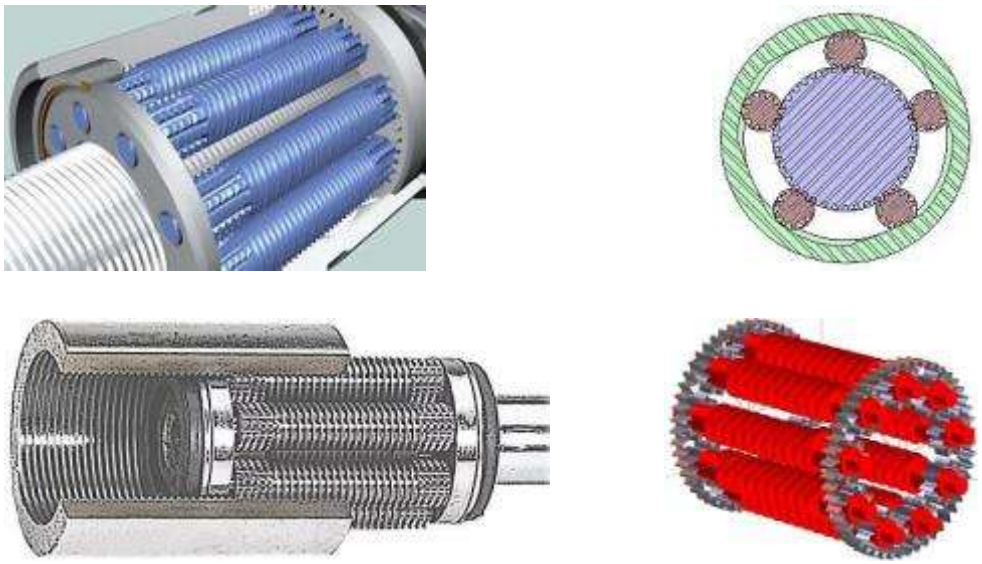


شکل۳-۱۲- مکانیزم تبدیل حرکت دورانی به خطی از نوع پیچ غلطکی

اغلب برای ایجاد همزمانی (سنکرون کردن) حرکت غلطک‌ها، آنها را بکمک یک چرخدنده خورشیدی به هم متصل می‌کنند.

---

[6] Roller Screw



شکل۳-۱۳- استفاده از چرخدنده خورشیدی بمنظور ایجاد همزمانی حرکت غلطک‌های پیچ غلطکی

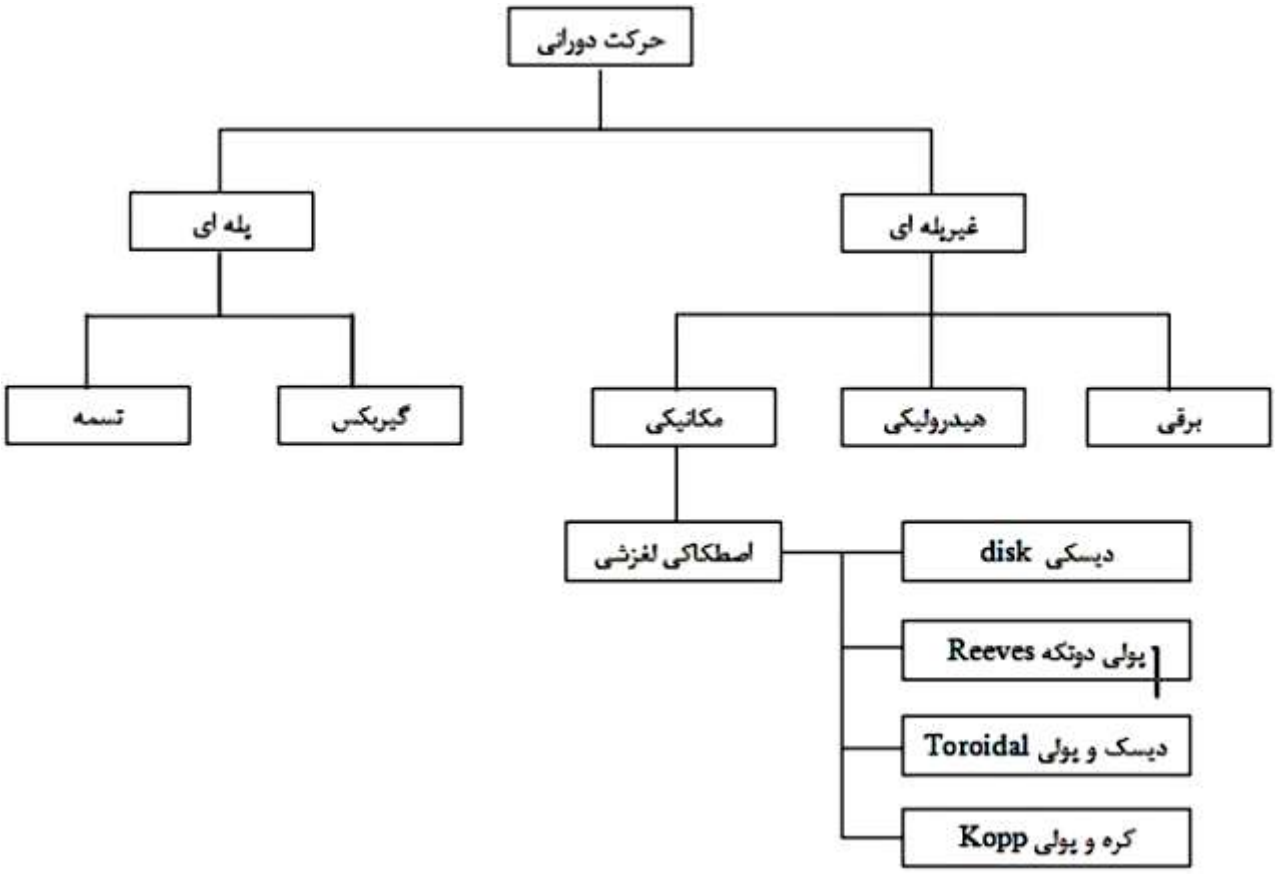
۳-۲-۴- سیستم انتقال قدرت به محوراصلی

برای انتقال حرکت دورانی دو نوع سیستم انتقال قدرت داریم:

۱- سیستم انتقال قدرت پله‌ای

۲- سیستم انتقال قدرت غیر پله‌ای

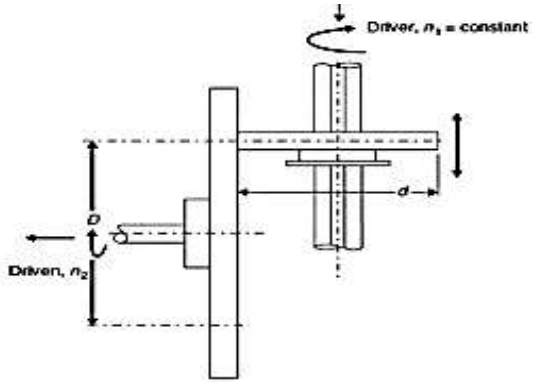
هریک از انواع فوق نیز خود به انواع دیگری دسته‌بندی می‌شوند که در شکل زیر آورده شده‌است.



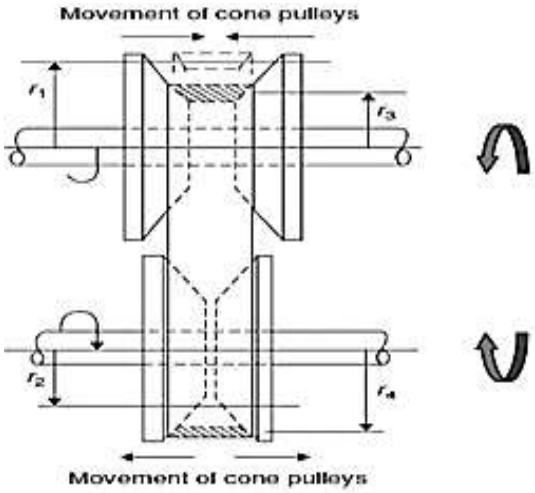
شکل۳-۱۴- دسته‌بندی انواع سیستم انتقال قدرت

در ماشین‌های CNC برای برخی کاربردها لازم است سیستم انتقال قدرت از نوع غیرپله‌ای باشد، برای نمونه در ماشین تراش درصورتی که بخواهیم سرعت برشی حین ماشینکاری ثابت بماند (یعنی با کاهش قطر قطعه‌کار سرعت دورانی افزایش یابد و بالعکس) باید ماشین CNC مجهز به سیستم انتقال قدرت غیرپله‌ای باشد.

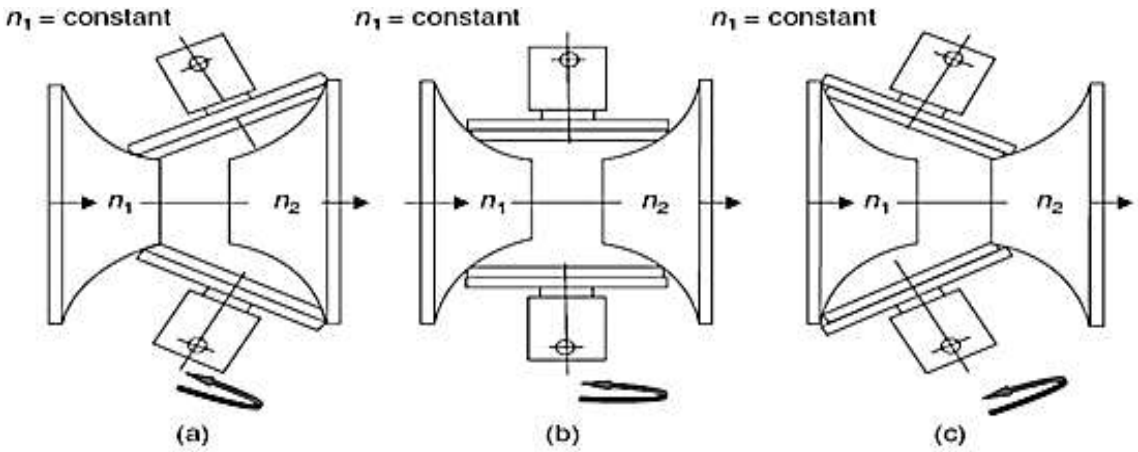
در اغلب ماشین‌های CNC برخلاف ماشین‌های سنتی، موتور دارای قابلیت تغییر سرعت به صورت غیرپله‌ای است و سیستم انتقال قدرت فقط وظیفهٔ کاهش سرعت با نسبت ثابت را بر عهده دارد. انواع روش‌های مکانیکی انتقال قدرت غیرپله‌ای نیز در برخی ماشین‌ها کاربرد دارند. در شکل‌های زیر اصول عملکرد این روش‌ها نشان داده شده‌اند.



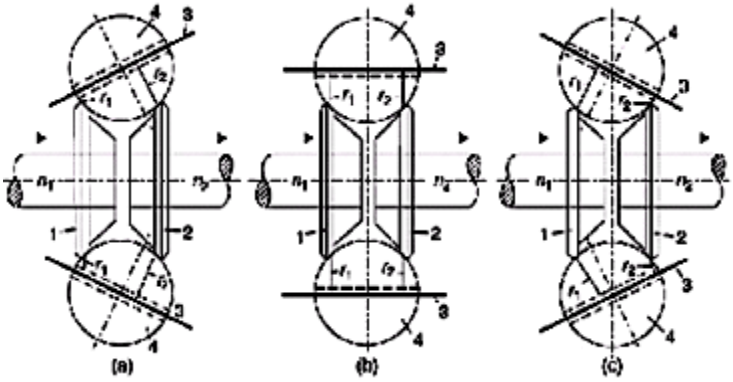
شکل۳-۱۵- انتقال قدرت غیرپله‌ای نوع دیسکی



شکل۳-۱۶- انتقال قدرت غیرپله‌ای نوع پولی دوتکه



شکل۳-۱۷- انتقال قدرت غیرپله‌ای نوع دیسک و پولی Toroidal



شکل۳-۱۸- انتقال قدرت غیرپله‌ای نوع کره و پولی Kopp

۳-۲-۵- موتورهای محرک

باتوجه به مداربار یا مدار بسته بودن نوع کنترل از دو نوع موتور درماشین‌های CNC استفاده می شود.

۳-۲-۵-۱- موتورهای پله ای[7]

این نوع موتورها با دریافت پالس الکتریکی دوران می‌کنند. به ازای هرپالس الکتریکی که موتور برسد، روتور به اندازه معینی دوران می‌کند. مثلاً در یک موتور ۲۰۰ پالس بر دور، روتور به ازای هر پالس $\frac{360}{200}=1.8^{\circ}$ خواهد چرخید. از این موتورها در سیستم کنترل مدار باز استفاده می شود. در این نوع موتورها درصورت اعمال نیروی بیش از توان موتور، خطا در موقعیت و کاهش سرعت بروز خواهد کرد یعنی وقتی بار وارده بیش از تحمل موتور باشد، موتور از رسیدن به موقعیت یا سرعت خواسته شده، جامی‌ماند یا اینکه جلو می‌زند. این موتورها دارای قدرت پایین و قیمت ارزان هستند و از آنها معمولاً برای جابجایی ابزار در ماشین‌های CNC کوچک استفاده می شود.

۳-۲-۵-۲- سرو موتورها[8]

این نوع موتور به دو دسته DC و AC تقسیم می شوند. این موتورها داری یک سیستم کنترلی به نام درایو[9] هستند که با دریافت بازخورد[10] داخلی از تاکومتر یا انکودر متصل به موتور، هرگونه خطا را در چرخش (موقعیت دورانی) یا سرعت موتور اصلاح می کند. این نوع موتورها درسیستم‌های کنترل مداربسته کاربرد دارند.

۱- سرو موتورهای جریان مستقیم DC

سرعت دورانی این موتورها توسط ولتاژ و گشتاور آنها توسط جریان ورودی به موتور به خوبی قابل کنترل است. به علت ویژگی‌هایی از قبیل قدرت بالا، سرعت یکنواخت، عکس‌العمل سریع نسبت به تغییرات سرعت و... بیشترین کاربرد را درماشین‌های CNC دارند. بیشترین کاربرد آنها در سیستم محرکه محور اصلی ماشین (اسپیندل یا سه نظام) است.

---

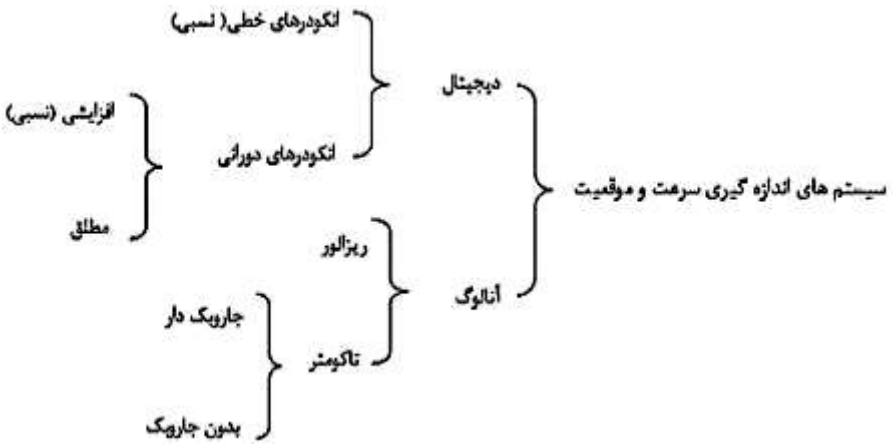
[7] Step motor
[8] Servo motor
[9] Drive
[10] Feed back

۲- سرو موتورهای جریان متناوب AC

سرعت دورانی این موتورها با فرکانس ورودی کنترل می‌شود. مزیت آنها این است که نیازی به یکسوکننده (مبدل AC به DC) ندارند. به دلیل حجیم بودن در مقایسه با موتورهای DC، کاربرد کمتری درماشین‌های CNC دارند. از این موتورها معمولاً برای حرکت ابزار در راستای محورها استفاده می شود. در ایران سروموتورهای AC فراوان‌تر از سروموتورهای DC هستند.

۳-۲-۶- سیستم‌های اندازه‌گیری سرعت و موقعیت محورها :

سیستم‌های اندازه‌گیری سرعت و موقعیت محورها انواع مختلفی دارد که دسته‌بندی کلی این سیستم‌ها در شکل زیر آمده است.



شکل۳-۱۹- دسته‌بندی سیستم‌های اندازه‌گیری سرعت و موقعیت

در سیستم‌های اندازه‌گیری سرعت و موقعیت از نوع دیجیتال، سیگنال خروجی به صورت صفر و یک (خاموش و روشن) است اما در نوع آنالوگ سیگنال پیوسته داریم. به طور کلی پردازش سیگنال دیجیتال در مقایسه با نوع آنالوگ آسان تر است.

۳-۲-۶-۱- انکودر[11]

انکودر وسیله ای برای اندازه‌گیری موقعیت واقعی محورها[12] است.

شکل۳-۲۰- چند نمونه از انکودرهای مورد استفاده در ماشین‌های CNC

[11] Encoder
[12] Axes Actual Position

انکودرها را می توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد:

الف) انکودرهای نسبی

در انکودرهای نسبی موقعیت یک نقطه نسبت به نقطه قبلی اندازه‌گیری می‌شود. این نوع انکودرهای ساده تر و ارزانتر می باشند، اما نیاز به رفرنس شدن دارند.

ب) انکودرهای مطلق

در انکودرهای مطلق موقعیت هر نقطه نسبت به یک نقطه معین (صفر) اندازه‌گیری می شود. این انکودرها گران قیمت‌تر و از نظر طول محدودتر (حداکثر 3m) می باشند، اما نیازی به رفرنس شدن نخواهند داشت.

تفاوت انکودرهای نسبی و مطلق:

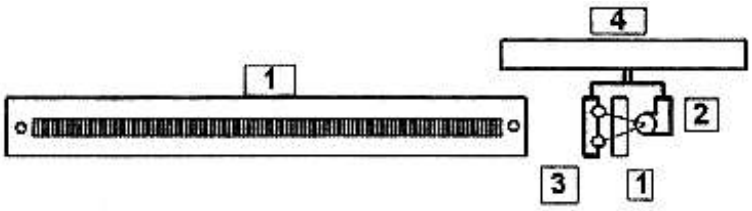
۱- انکودرهای نسبی فقط جابجایی را تشخیص می‌دهند و به شرطی می توانند موقعیت راشناسایی کنند که نقطه صفر یا مرجع به آنها شناسانده شده‌باشد.

۲- انکودرهای مطلق در هر لحظه قادر به تشخیص موقعیت هستند، البته از نظر طول حرکت اسلایدر دارای محدودیت می‌باشند.

انواع انکودرهای نسبی عبارتند از :

الف) انکودرهای نسبی خطی یا خط‌کشها[۱۳]

این انکودرها موقعیت محورها را به طور مستقیم اندازه‌گیری می کنند. (شکل زیر)



شکل۳-۲۱- انکودر نسبی خطی (خط‌کش)

انکودرهای نسبی از بخش‌های زیرتشکیل شده است:

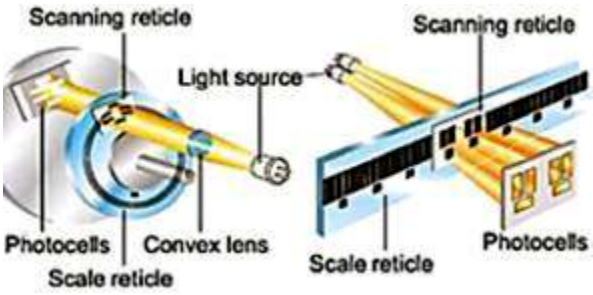
۱- خط کش شیشه‌ای: صفحه‌ای شیشه‌ای به طول مسیر مورد اندازه‌گیری که سطح آن با نوارهایی به صورت یک درمیان تاریک و روشن (شفاف و کدر) که با دقت زیادی ایجاد شده، پوشانده شده‌است. (شمارهٔ ۱ شکل بالا).

۲- منبع نور که می تواند یک LED باشد. (شمارهٔ ۲ شکل بالا)

۳- سلولهای نوری[۱۴] (شمارهٔ ۳ شکل بالا)

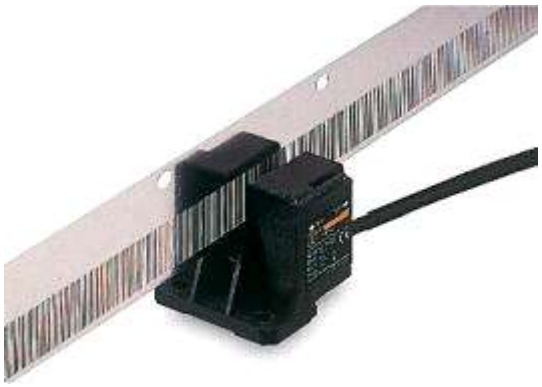
---

[13] Linear Encoders



شکل۳-۲۲- نحوهٔ تابش و دریافت نور در انکودرها

همانطور که در شکل دیده می شود منبع نور و سلول‌های نوری در دو طرف خط کش قرار گرفته‌اند. خطکش در امتداد محور ثابت شده است، اما منبع نور و سلولهای نوری همراه با محور (شماره ۴ شکل بالا) تغییر مکان می دهند. نور تابیده شده از منبع از میان نوارهای تاریک و روشن عبور می‌کند و به کمک سلول نوری دریافت می‌شود. این نور متناوب تبدیل به یک موج سینوسی (سپس مربعی) می شود و توسط کنترل کننده شمرده خواهد شد. با معلوم بودن عرض نوارها میزان جابجایی محور اندازه‌گیری می‌شود. این انکودرها قادر هستند در ماشین‌های CNC موقعیت‌های محور را با وضوح یک میکرون اندازه‌گیری کنند.



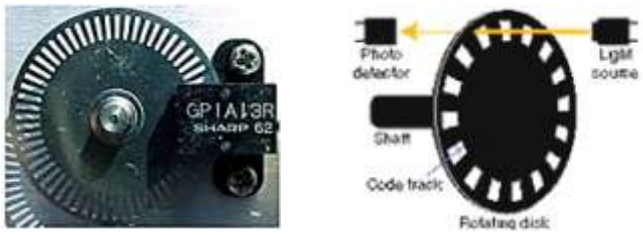
شکل۳-۲۳- یک نمونه از انکودرهای خطی

ب) انکودرهای دورانی[۱۵]

در این انکودرها، نوارهای تاریک و روشن روی یک صفحهٔ دایره‌ای شکل قرار گرفته‌اند و خود این صفحه نیز روی یک محور سوار شده است. منبع نور و سلول نوری به طور ثابت در دو طرف صفحه مدور قرار گرفته‌اند. کل این اجزا داخل یک محفظهٔ استوانه‌ای شکل قرار دارند که روی پیچ ساچمه‌ای (یا داخل موتور یا روی محور گردان) سوار می‌شود. با چرخش پیچ ساچمه‌ای، محور انکودر و به همراه آن، صفحهٔ دوار می‌چرخد و نور با عبور خطوط تاریک و روشن، قطع و وصل خواهد شد. انکودرهای دورانی موقعیت محورها را به طور غیرمستقیم اندازه‌گیری می کنند.

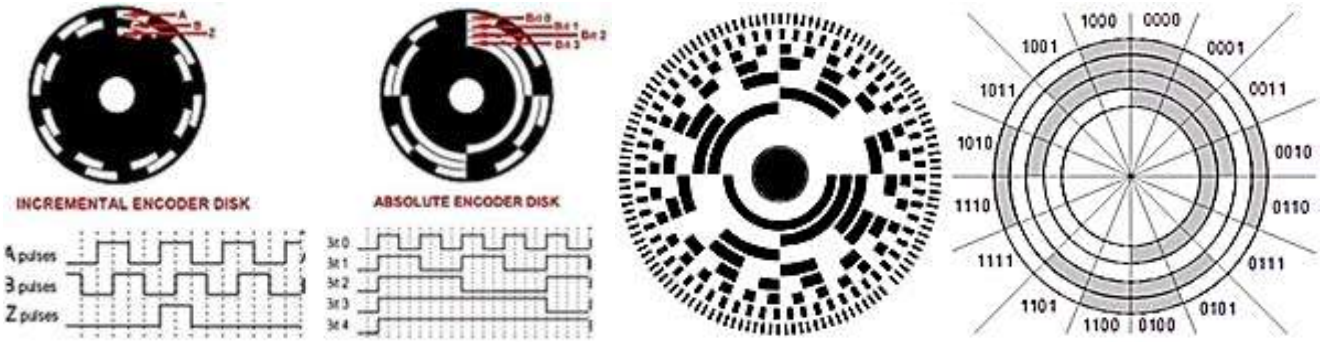
---

[14] Photocells
[15] Shaft/Rotary Encoders



شکل۳-۲۴- یک نمونه از انکودرهای دورانی ساده

بمنظور افزایش کارایی انکودرهای دورانی، شیارهای روی دیسک‌ها را در قطاع‌های با قطرهای مختلف به گونه‌ای ایجاد می‌کنند که بتوان بیش از یک دور گردش را ردیابی کرد و در طول محدود به صورت مطلق موقعیت را محاسبه کرد.



شکل۳-۲۵- نمونه‌هایی از فرم شیارهای انکودرهای دورانی

مقایسه انکودرهای خطی و دورانی:

۱ – انکودرهای خطی مستقیماً موقعیت محورها را اندازه‌گیری می کنند در نتیجه اگر خطایی به علت لقی وجود داشته باشد این خطا به انکور منتقل نمی شود. به عبارت دیگر تا زمانی که محورحرکت نکرده است انکودر جابجایی را ثبت نخواهدکرد.

۲ – انکودرهای دورانی میزان چرخش پیچ ساچمه ای را اندازه‌گیری می کنند. با ضرب کردن تعداد دوران در گام پیچ ساچمه‌ای میزان جابجایی محور به دست می‌آید. درنتیجه اگر خطایی به علت لقی وجود داشته باشد به انکودر منتقل خواهدشد، در این حالت پیچ ساچمه ای می چرخد اما محور به علت لقی حرکتی نخواهد داشت. به طور کلی باید گفت که انکودرهای خطی دقیق تر از انکودرهای دورانی می‌باشند.

۳ – انکودرهای خطی خیلی زود کثیف می‌شوند درحالی که آب‌بندی کردن انکودرهای دورانی و محافظت آنها در برابر گرد و خاک، بخار و... راحت است.

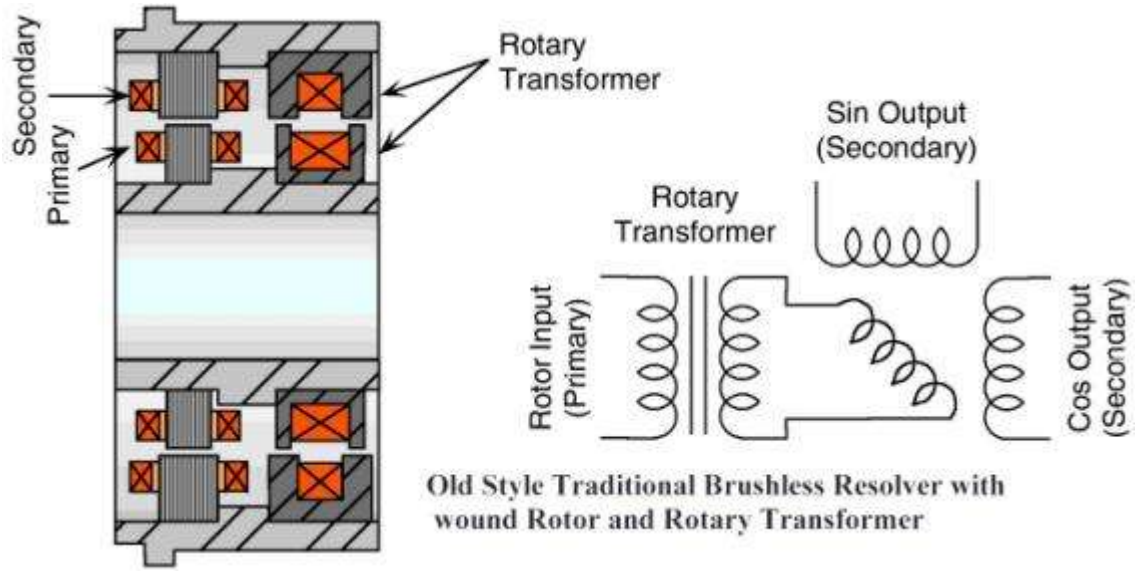
۴ – هر قدر محور طولانی‌تر باشد انکودر خطی بزرگتری (و به ناچارگرانتری) لازم است در حالی که انکودر دورانی می تواند برای هرمحوری با طول متفاوت استفاده شود.

۳-۲-۶-۲- ریزالور[۱۶]

ساختار آنها مشابه ژنراتورهای AC تکفاز است. ریزالورها قادر به تشخیص سرعت و جابجایی زاویه‌ای محور هستند. استاتور و روتور آنها به ترتیبی ساخته شده که در هر زاویه‌ای که محور قرار بگیرد با تولید شار مغناطیسی، موج سینوسی و کسینوسی به خصوصی ایجاد می‌کنند و بدین ترتیب می توانند موقعیت زاویه‌ای را تشخیص دهند.

شکل۳-۲۶- چند نمونه ریزالور

شکل ظاهری ریزالورها شبیه موتور است و از سه سیم‌پیچ تشکیل شده است. یک سیم‌پیچ محرک (اولیه) و دو سیم پیچ فاز x و y (ثانویه) که با یکدیگر ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند. بنابراین در هر دور چرخش یک موج سینوسی و یک موج کسینوسی (یا به عبارتی یک ولتاژ سینوسی و کسینوسی) حاصل می‌شود و بدین ترتیب هم اطلاعات موقعیت زاویه‌ای و هم جهت چرخش به سیستم سرو کنترل داده می‌شود.



شکل۳-۲۷- ساختار داخلی ریزالور

ریزالورها عموماً دو قطبه هستند البته انواع 2p قطبه هم موجود است. طبیعی است که هر چه تعداد قطب‌ها بیشتر باشد دقت اندازه‌گیری بالاتر است. دقت زاویه‌ای ریزالورهای دو قطبه تا مثبت و منفی ۵ دقیقه می‌باشد و برای ۱۶ قطبه به ۱۰ ثانیه و

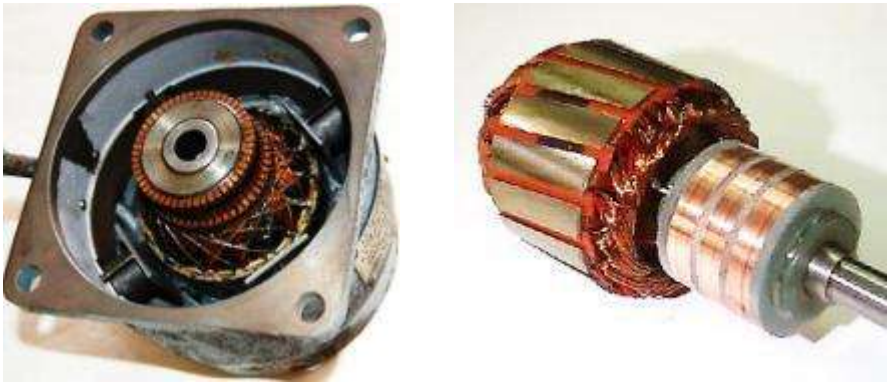
---

[16] Resolver

برای ۱۲۸ قطبه به ۱ ثانیه نیز می‌رسد اما به طور کلی دقت ریزالور از انکودر کمتر است. در عوض در محیط‌های خشن و با ارتعاشات و دمای بالا (بالاتر از ۱۲۵ درجه سانتیگراد) که از انکودر نمی توان استفاده نمود ریزالور به خوبی قابل استفاده است.

۳-۲-۶-۳- تاکومتر[۱۷]

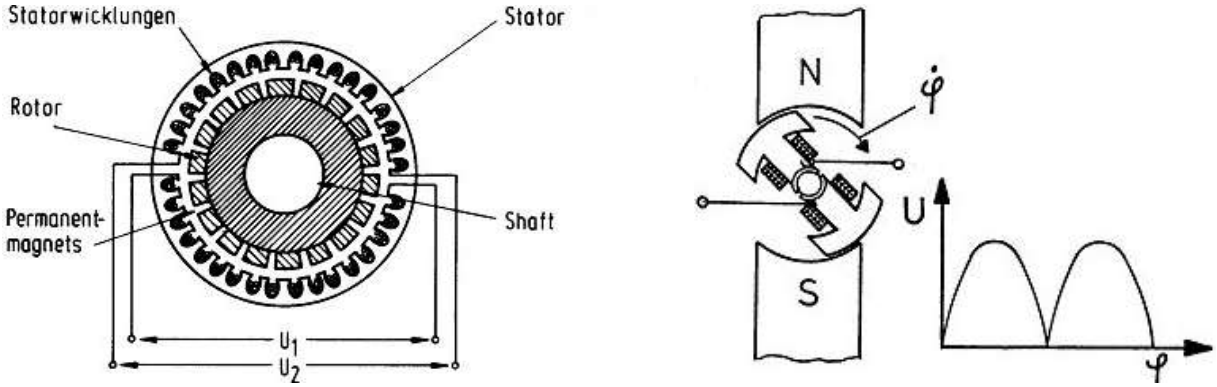
ساختار آنها مشابه ژنراتورهای DC است. برای اندازه‌گیری سرعت استفاده می‌شود که دارای نوع جاروبک‌دار و بدون جاروبک می‌باشد.



شکل۳-۱- تاکومتر

۱- **نوع جاروبک دار** مشابه دینام DC است و استاتور آن آهنربای دائمی و روتور، سیم پیچ است.

۲- **نوع بدون جاروبک** دارای استاتور سیم پیچی و روتور ازجنس آهنربای دائمی است.



شکل۳-۱- ساختار داخلی ریزالور نوع جاروبک دار

[17] tacho–Sensor / tacho–Generator

فصل چهارم:

مبانی برنامه‌نویسی ماشین‌های CNC

۴-۱- وظایف قابل برنامه ریزی در ماشین‌های CNC

امروزه با پیشرفت فناوری تولید، وظایف اپراتور یک ماشین دستی، به CNC سپرده شده است. حال این سوال مطرح می‌شود: « آیا کلیه وظایفی که اپراتور ماشین دستی انجام می‌داده است، اکنون توسط CNC انجام می‌شود یا ممکن است بعضی از آن ها هنوز بر عهده اپراتور باشند؟»

به عبارت دیگر «چه وظایفی را می‌توان به صورت کد درآورده و در برنامه CNC گنجانید؟»

برای روشن‌تر شدن موضوع، وظایف اجرایی را در کلیه سیستم های مکانیزه به سه دسته تقسیم می‌کنیم:

- **عملیات دستی**: این عملیات (مانند برداشتن و گذاشتن قطعه‌کار)، تنها با اعمال نیروی بازوی اپراتور انجام می‌شود. از این پس این نوع عملیات را با (*) مشخص خواهیم کرد.
- **عملیات نیمه‌خودکار**: این عملیات توسط یک سیستم خودکار با قدرت محرکه هیدرولیک، نیوماتیک یا برق انجام می‌شود. اما شروع عمل، موکول به صدور فرمان (فشرده یک دگمه یا پدال) از جانب اپراتور است. این نوع عملیات را با (**) مشخص خواهیم کرد.
- **عملیات تمام‌خودکار**: این عملیات طبق برنامه انجام می‌شود. سیستم کنترل، کد این وظیفه را از برنامه می‌خواند و آن را تبدیل به مقادیر قابل فهم برای ماشین می‌کند. این نوع عملیات را با (***) مشخص خواهیم کرد.

✓ **نکته**

هرگاه به عملیاتی از نوع (*) برخوردید، اپراتور ماشین باید با اعمال نیروی بازوی خود، کار را انجام دهد. در صورتی که عملیات از نوع (**) باشد. اپراتور باید محل صدور فرمان (مثلا روی تابلوی اپراتوری) را کاملا بشناسد. در عملیات از نوع (***) برنامه نویس باید کد اجرای عملیات و چگونگی به کار بردن آن را در برنامه بداند.

۴-۱-۱- وظایف قابل برنامه ریزی در ماشین های تراش CNC

روشن/ خاموش کردن موتور اسپیندل (محور اصلی)

در ماشین های تراش CNC، سه نظام روی محوری به نام اسپیندل (Spindle) سوار شده است. اسپیندل به کمک یک موتور الکتریکی به گردش در می‌آید. روشن/ خاموش کردن موتور در ماشین های تراش CNC می‌تواند نیمه‌خودکار (**) یا تمام‌خودکار (***) باشد.

تعیین جهت دوران اسپیندل

جهت دوران اسپیندل در ماشین های تراش، بسته به نوع عملیات، می‌تواند موافق یا مخالف گردش عقربه های ساعت باشد. این تغییر جهت دوران در بعضی از ماشین های تراش CNC از روی تابلوی اپراتوری امکان پذیر است (**)؛ اما در تمام ماشین های CNC به کمک برنامه (***)، می‌تواند جهت چرخش را تعیین کرد.

تعیین سرعت دوران اسپیندل

در حال حاضر، به کمک سیستم های کنترل دور، سرعت دوران محور اصلی توسط CNC کنترل می‌شود (***). موتور محور اصلی می‌تواند DC (کنترل دور با تغییرات شدت جریان) یا AC (کنترل دور با تغییرات فرکانس) باشد. در ماشین های تراش CNC، تغییرات سرعت دوران اسپیندل با یک مدار بازخورد (Feedback)، تحت کنترل لحظه‌ای درایو موتور می‌باشند. با این امکان می‌توان با قطرهای مختلف قطعه‌کار، سرعت های دورانی مختلفی را بدست آورد.

تعویض ابزار

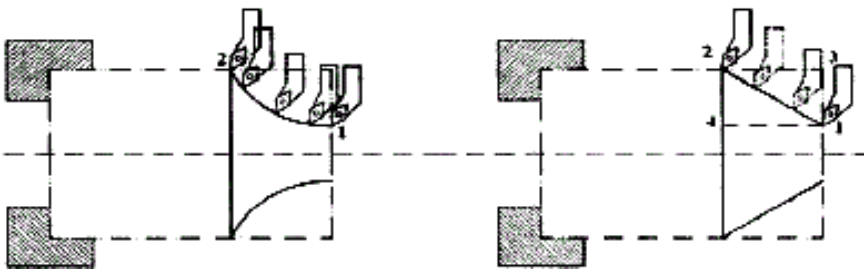
ابزارهای تراشکاری، روی قطعه‌ای دیسکی شکل به نام برجک (Turret) سوار می‌شوند. هر ایستگاه ابزار دارای یک شماره است و می‌توان به روش نیمه خودکار (**) یا تمام خودکار (***) ابزار مورد نظر را فعال کرد.

تعیین موقعیت ابزارروی دو محور در نقاط معین و دقیق

ابزارگیر ماشین تراش CNC، روی دو سطح راهنما (Slider) که عمود بر یکدیگرند، می‌لغزد و جابه جا می‌شود. با کلیدهای موجود روی تابلوی کنترل (**) یا با وارد کردن مختصات یک نقطه در برنامه می‌توان موقعیت ابزار را به طور دقیق تعیین کرد (***) این موقعیت یابی (Positioning) به کمک سیستم کنترل موقعیت انجام می‌شود.

تعیین مسیر حرکت ابزار

ابزار، در نقطه ۱ مستقر است و می‌خواهیم آن را به نقطه ۲ ببریم. روش های زیر، در ماشین های CNC امکان پذیرند:



- **حرکت خطی محور به محور**: ابتدا ابزار را به نقطه ۳ و سپس به ۲، یا ابتدا به نقطه ۴ و سپس به ۲ می‌بریم. این حرکت ها مشابه عملیات روتراشی و پیشانی تراشی در ماشین های تراش دستی می‌باشند.
- **حرکت خطی به صورت کنترل همزمان ۲ محور (میان یابی خطی)**: در ماشین های تراش CNC به کمک کنترل همزمان ۲ محور می‌توان مسیر مستقیم ۱ به ۲ را برای حرکت ابزار برنامه‌ریزی کرد (***). به این ترتیب می‌توان سطوح مخروطی را بدون نیاز به تجهیزات یا عملکردهای خاص (مانند انحراف مرغک در ماشین های دستی) تراشکاری کرد.

❖ **حرکت دایره ای (میان یابی دایره ای)**: کنترل کننده های CNC می‌توانند همزمان حرکت ابزار را به نحوی روی دو محور کنترل کنند که نوک ابزار همیشه روی کمانی از یک دایره مشخص قرار داشته باشد. به این ترتیب، ایجاد شکل های بسیار پیچیده با برنامه‌نویسی CNC امکان پذیر می‌شود (***).

۴-۱-۲-وظایف قابل برنامه ریزی در ماشین‌های فرز CNC

روشن/ خاموش کردن موتور اسپیندل

مشابه ماشین های تراش

تعیین جهت دوران اسپیندل

مشابه ماشین های تراش

تعیین سرعت دوران اسپیندل

مشابه ماشین های تراش، البته در بعضی از ماشین های فرز CNC، تغییرات سرعت به کمک یک گیربکس به دست می‌آید. تغییر سرعت این نوع ماشین ها، به صورت پله‌ای است و می‌تواند به طور دستی (*)، نیمه‌خودکار (**) یا تمام‌خودکار (***) انجام شود.

تعویض ابزار

تعویض ابزار در ماشین های فرز، به صورت دستی (*)و در ماشین های سنتر، به صورت تمام‌خودکار (***) انجام می‌شود.

تعیین موقعیت ابزار روی سه محور در نقاط معین

ماشین های فرز CNC، دارای سه محور عمود بر هم هستند. به کمک کنترل کننده می‌توان موقعیت دقیق روی هر محور را تعیین کرد.

تعیین مسیر حرکت ابزار

نوع مسیر حرکت ابزار، می‌تواند به یکی از دو حالت زیر باشد:

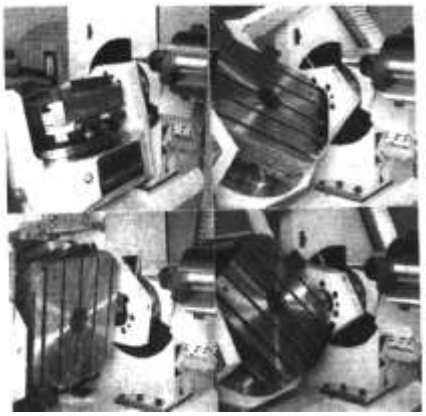
❖ **حرکت خطی**: این روش به سه صورت تک محور، دو محور همزمان یا سه محور همزمان برنامه ریزی می‌شود.

❖ **حرکت دایره ای**: این روش، فقط به صورت دو محور همزمان قابل برنامه ریزی است. با پیشرفت هایی که در صنعت کامپیوتر صورت گرفته است، در ماشین‌های نوین، حرکت ابزار، روی کمانی از دایره که در فضای سه‌بعدی قرار گرفته، نیز امکان پذیر شده است.

۴-۲- میز یا هد گردان و موارد کاربرد آن

فرزهای عمودی فقط می‌توانند یک وجه (سطح افقی) را از قطعه‌کار، ماشینکاری کنند. فرزهای افقی نیز تنها قادر به ماشینکاری یک وجه (سطح عمودی) قطعه‌کار خواهند کرد. در صورت نیاز به ماشینکاری چند وجه، ماشین باید مجهز به میز گردان (Rotary Table) یا هد گردان (Rotary Head) باشد؛ در غیر این صورت باید قطعه چند بار باز و بسته شود که علاوه بر اتلاف وقت، باعث افزایش خطا نیز خواهد شد.

میزهای گردان، مشابه صفحه تقسیم عمل می‌کنند. این میزها میتوانند با کنترل، زوایای مختلفی را برای قطعه‌کار ایجاد و امکان دسترسی ابزار را نیز به وجوه و قسمت های مختلف قطعه‌کار فراهم کنند. در ماشین های بزرگ (مانند فرز دروازه‌ای) که امکان چرخش میز وجود ندارد، هد ماشین با چرخش خود این توانایی را ایجاد می‌کند.



میز یا هد گردان به دو نوع تقسیم می‌شود:

- **با چرخش ایستگاهی (ایندکس)**: این نوع میز یا هد، ایستگاه به ایستگاه توقف می‌کند. زاویه بین دو ایستگاه می‌تواند از ۰/۵ تا ۱۸۰ درجه تغییر کند. در هنگام چرخش میز، ابزار باید از کار جدا شده باشد. این سیستم برای دسترسی ابزار به وجوه مختلف قطعه‌کار مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما توانایی ماشینکاری مسیرهای پیوسته را همزمان با چرخش میز (یا هد) ندارد. برای تثبیت موقعیت میز از درگیری دو عدد چرخ دنده استفاده می‌شود.
- **با چرخش پیوسته (NC Rotary)**: برای ماشینکاری مسیرهای پیچیده (مانند پره توربین) ابزار باید قادر باشد همزمان با چرخش میز، ماشینکاری کند. این امر با استفاده از میز یا هد گردان با چرخش پیوسته (NC Rotary) میسر است. این میزها می‌توانند به طور مداوم و بدون نیاز به جدا شدن ابزار، دوران نمایند.

بدیهی است که قدرت مقاومت آن ها در برابر نیروهای ماشینکاری و پیشروی، کمتر از میزهای ایندکس خواهد بود. برای حل این مشکل معمولا دو یا چهار ایستگاه با نوعی گیره (کلمپ) هیدرولیکی مجهز می‌شوند تا عملیات سنگین در این زوایا، به صورت ثابت اجرا شوند.

ماشین های فرز دارای میز یا هد گردان، ماشین های چهار محور نامیده می‌شوند. در ماشین های تراش که مجهز به ابزار گردان (Driven Tool) می‌باشند، اسپیندل مشابه یک میز گردان با چرخش پیوسته عمل می‌کند. در این نوع ماشین های می‌توان مسیرهای پیچیده ای را روی قطعات مدور اجرا کرد یا سوراخ ههای خارج از مرکز را با دقت بالا ماشینکاری نمود.

۴-۳- زبان های برنامه‌نویسی

در حال حاضر، دو زبان برنامه‌نویسی رایج تر می‌باشند:

۴-۳-۱- زبان DIN/ISO (کد G)

اکثریت سیستم های کنترل CNC، با این زبان برنامه‌نویسی می‌شوند. دستورالعمل ها، با کد G تعریف می‌شوند. تعدادی از Gکدها دارای تعریف استاندارد می‌باشند و سازندگان CNC خود را موظف به مطابقت با این استاندارد می‌دانند. تعدادی از کدها نیز آزادند و هر کنترل‌کننده CNC تعریف جداگانه‌ای برای این کدها دارد.

مثالی از یک برنامه با زبان DIN/ISO

```
%4856
N5 G17 G71 G90 G56
N10 G00 Z200
N15 T5 D5 M6
N20 S1850 M3
N25 Z2
N30 G1 Z-10 F300 M8
N32 X300
N40 Y150
N45 G91 X200 Y-18
N50 G2 X80 Y80 I0 J-80
N100 M30
```

۴-۳-۲- زبان برنامه‌نویسی هایدن هاین (Heidenhain)

این زبان، مخصوص شرکت آلمانی هایدن هاین است. ویژگی این زبان، استفاده از کدهایی است که با زبان انگلیسی مطابقت دارند. به عنوان مثال، برای حرکت خطی از کد L (Line)، برای حرکت دایره ای از کد C (Circle) و برای مختصات مرکز از کد CC (Circle Center) استفاده شده است.

مثالی از یک برنامه به زبان هایدن هاین:

```
0 Begin pgm 10 MM
1 BLK Form 0.1 Z Xo Y0Z- 100
2 BLK Form 0.2 X300 Y400 Z0
3 Tool def 1 L0 R8
4 Tool call 1 Z S1800
5 L Z20 Fmax M03
6 L X130 Y250 F R0
7 L Z-8 F300
8 L IX50 IY80 F500
9 CR IX100 IY100 DR - R100
```

۴-۴- میان‌یابی (Interpolation) و انواع آن

حرکت ابزار روی یک مسیر مشخص به نحوی که همه محورها همزمان به نقطه پایان مسیر برسند، میان‌یابی خوانده می‌شود. بطورکلی، هر کنترل‌کننده CNC می‌تواند دو نوع میان‌یابی خطی (Linear Interpolation) و میان‌یابی دایره‌ای (Circular Interpolation) را اجرا کند. سیستم های کنترل CNC پیشرفته می‌توانند انواع دیگر مسیرها مانند حلقوی، بیضی، سهمی و چندنمایی را میان‌یابی کنند.

کنترل کننده های CNC برای شناسایی نقاط مختلف یک مسیر از دستگاه مختصات متعامد کارتزین استفاده می‌کنند.

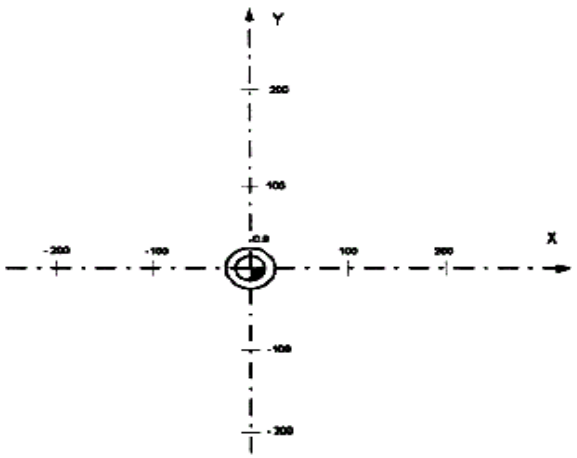
۴-۵- دستگاه مختصات کارتزین (Cartesian Coordinate System)

هر دستگاه مختصات، شامل چند محور (Axis) است. هر محور مختصاتی باید ویژگی های زیررا دارا باشد:

- دارای نام باشد. محورهای مختصات با عناوین Z,Y,X و ... نامیده می‌شوند.
- واحد اندازه‌گیری مختصات روی محور معلوم باشد. در ماشین های CNC، دو سیستم اندازه‌گیری متریک و انگلیسی به کار می‌روند. در سیستم متریک، اندازه ها بر حسب میلی متر (تا سه رقم اعشار) و در سیستم انگلیسی، بر حسب اینچ (تا چهار رقم اعشار) می‌باشند.
- مبدا مختصات محور مشخص باشد. مبدأ مختصات نقطه ای است که مختصات آن صفر است. به این نقطه، نقطه صفر (Zero Point) گفته می‌شود. هر محور باید دارای یک نقطه صفر معین باشد.
- جهت مثبت محور تعیین شده باشد. اندازه ها در راستای مثبت، افزایش می‌یابند و در خلاف جهت آن کاهش پیدا می‌کنند.

۴-۵-۱- دستگاه مختصات دوبعدی

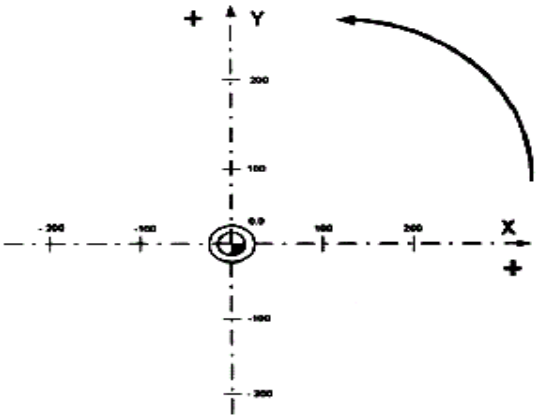
با داشتن یک محور مختصات، موقعیت کلیه نقاط واقع روی محور تعیین خواهند شد. برای تعیین مختصات نقاطی که در صفحه واقع شده اند، به یک دستگاه مختصات دو محور (دو بعدی) نیاز داریم. محور دوم نیز باید مشخصات محور اول را داشته باشد. نام این محور را Y فرض می‌کنیم.



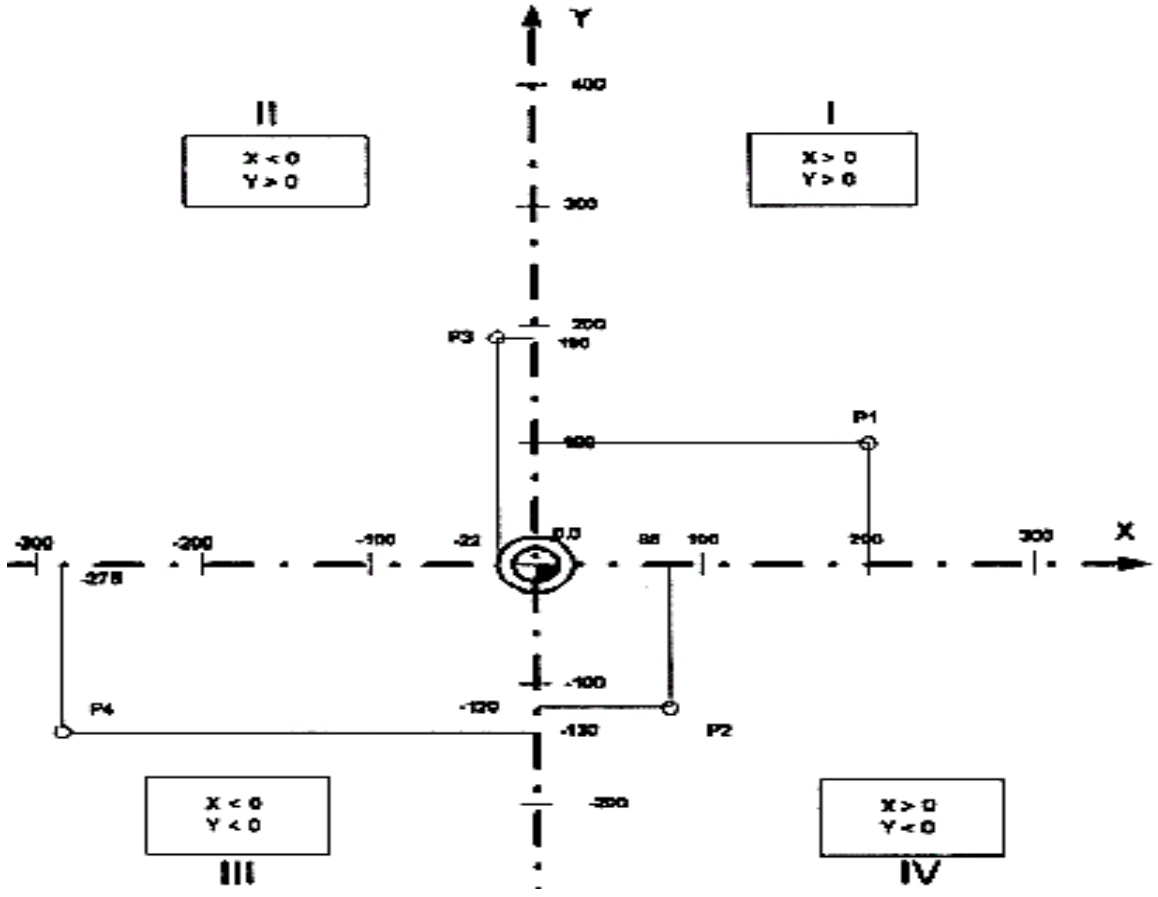
ویژگی هایی که باید دو محور یک دستگاه مختصات نسبت به یکدیگر دارا باشند، عبارتند از (شکل بالا):

- دو محور باید بر هم عمود باشند. به همین دلیل، این دستگاه مختصات را متعامد (عمود بر هم) می‌نامند.
- واحد اندازه‌گیری هر دو محور، یکسان باشد (مثلا هر دو میلی متر یا اینچ باشند).
- مبدأ مختصات (نقطه صفر) دو محور بر هم منطبق باشد.
- جهت مثبت محور دوم، با توجه به جهت مثبت محور اول، براساس قاعده زیر تعیین می‌شود:

قاعده: اگر از جهت مثبت محور اول (X) دستگاه مختصات، 90^{o} برخلاف جهت گردش عقربه های ساعت گردش کنیم، به جهت مثبت محور دوم (Y) می‌رسیم (شکل زیر).



با داشتن یک دستگاه مختصات دو بعدی، کلیه نقاط واقع در صفحه‌ای که از دو محور X و Y می‌گذرد با دو عدد تعریف خواهند شد. برای تعیین مختصات X یک نقطه، خطی از آن نقطه بر محور X عمود و فاصله پای عمود تا نقطه صفر محورها را، مختصات X آن نقطه می‌نامیم. برای تعیین مختصات Y یک نقطه، خطی را بر محور Y عمود می‌کنیم (شکل زیر).



به عنوان نمونه:

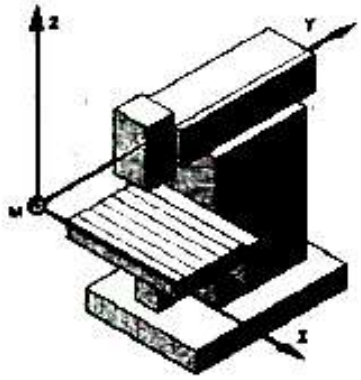
P1(X200, Y100)
P2(X85, Y-120)
P3(X-22, Y190)
P4(X-275, Y-130)

همان طور که در شکل بالا مشاهده می‌شود، دستگاه مختصات XY صفحه را به چهار ناحیه تقسیم می‌کند. در ناحیه I، کلیه مختصات مثبت می‌باشند. در ناحیه II ، کلیه X ها منفی و کلیه Y ها، مثبت خواهند بود. مختصات X و Y در ناحیه III، همگی منفی می‌باشند و در ناحیه IV ، مختصات X مثبت و مختصات Y منفی خواهند بود.

۴–۵–۲– دستگاه مختصات سه‌بعدی

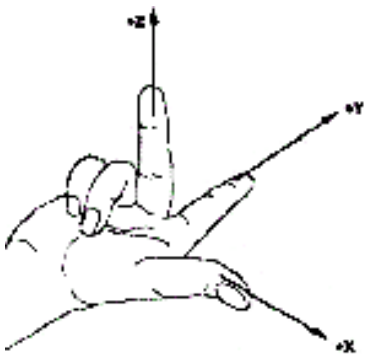
برای تعیین مختصات یک نقطه در خارج از صفحه (در فضای سه‌بعدی)، به یک محور دیگر نیازمندیم. این محور را Z می‌نامیم و در این جا به معرفی ویژگی های آن می‌پردازیم.

- محور Z باید بر محورهای X و Y عمود باشد، پس بر صفحه ای که از X و Y می‌گذرد نیز عمود خواهد بود.
- واحد اندازه‌گیری هر سه محور یکسان است.
- نقطه صفر دستگاه مختصات، محل تقاطع سه محور X,Y و Z است.
- جهت مثبت محور Z با توجه به جهت های مثبت محورهای X,Y، براساس قانون دست راست تعیین می‌شود.



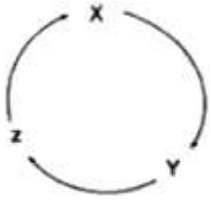
۴–۵–۳– قانون دست راست برای تعیین جهت محورهای مختصات

روش اول: اگر انگشت شست دست راست را بر جهت مثبت محور اول (X) و انگشت سبابه (اشاره) را بر جهت مثبت محور دوم (Y) منطبق کنیم انگشت میانی این دست، بر جهت مثبت محور سوم (Z) منطبق خواهد بود (شکل زیر).

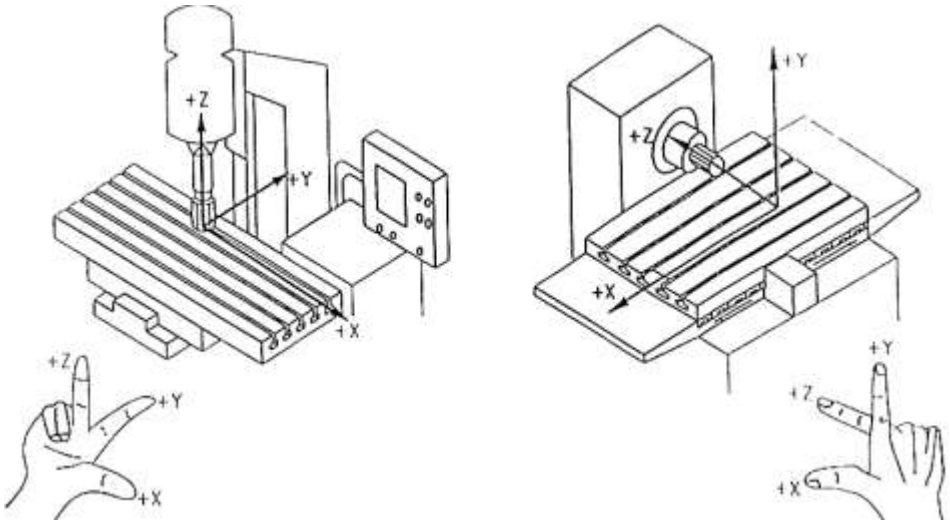


روش دوم: اگر انگشتان خمیده دست راست جهت چرخش، از جهت مثبت محور اول (X) به سمت جهت مثبت محور دوم (Y) باشد، انگشت شست دست راست در راستای جهت مثبت محور سوم (Z) قرار خواهد گرفت.

✓ دقت کنید که ترتیب سه محور اصلی، مطابق شکل زیر حفظ شود.



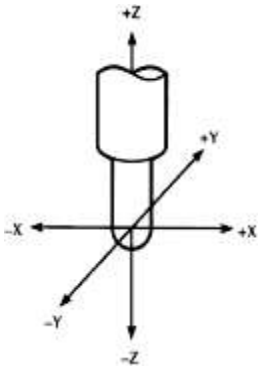
✓ اگر انگشت شست را بر محور Z منطبق کرده باشیم، انگشت سبابه بر محور X منطبق می‌شود و در نتیجه انگشت میانی دست راست، نمایان گر جهت مثبت محور Y خواهد بود.



۴-۶- روش تعیین نام و جهت مثبت محورهای مختصات در ماشینهای فرز CNC

در این روش که قابل استفاده در اکثر ماشینهای CNC است، به دو نوع افقی و عمودی از ماشینهای فرز CNC اشاره می‌شود و برای هر نوع ماشین نیز دو اندازه کوچک و بزرگ در نظر گرفته خواهد شد.

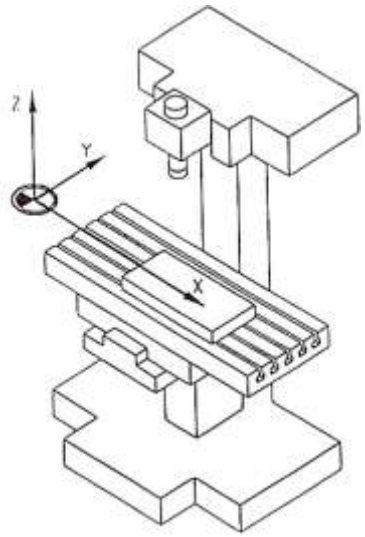
اصل اول: محوری که در راستای نفوذ ابزار قرار گرفته است، Z نام دارد و جهت مثبت آن به سمت دور شدن از قطعه‌کار است.



اصل دوم: محوری که در راستای طول میز است، X نام دارد و جهت مثبت آن از چپ به راست اپراتور است.

✓ در اصل دوم باید محل استقرار اپراتور کاملا مشخص شده باشد.

✓ **نکته:** حال، با دانستن جهت دو محور Z و X با استفاده از قانون دست راست، جهت مثبت محور سوم یعنی Y را تعیین می‌کنیم.



۴-۶-۱- کاربرد روش فوق در ماشینهای فرز CNC

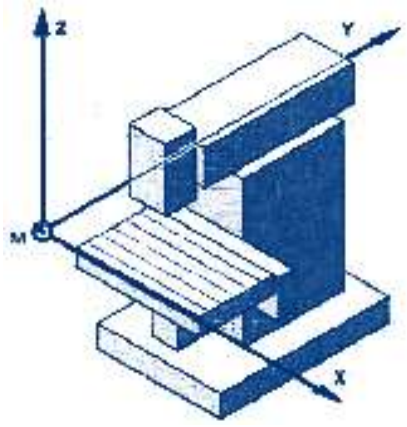
همان طور که اشاره شد، ماشینهای فرز سه گروه را شامل می‌شوند:

- ماشینهای فرز عمودی
- ماشینهای فرز افقی
- ماشینهای فرز یونیورسال

روش مذکور را برای دو نوع ماشین فرز عمودی (در اندازه کوچک تا متوسط و دروازه ای) دو نوع ماشین فرز افقی (در اندازه کوچک تا متوسط و بورینگ بزرگ) استفاده می‌کنیم (بورینگ به ماشین فرزی گفته می‌شود که محور اصلی – اسپیندل- آن نیز، یک حرکت کشویی داشته باشد. ماشینهای بورینگ در ماشینکاری سطوح داخلی عمیق به کار می‌روند).

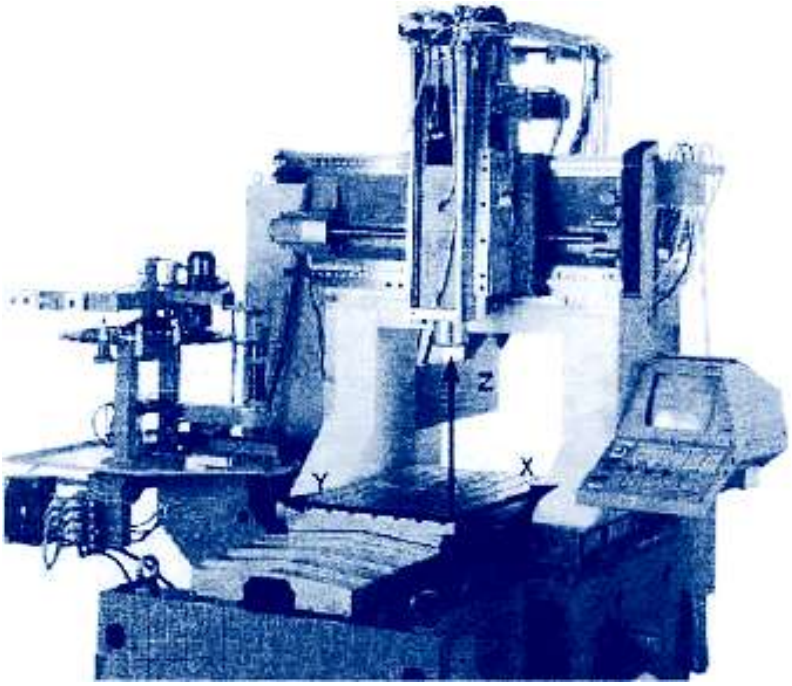
۱- ماشین فرزی عمودی کوچک تا متوسط

در این نوع ماشینها، محل استقرار اپراتور در مقابل ماشین است. همان طور که در شکل زیر دیده می‌شود جهت مثبت محور Z، به سمت بالا (دور شدن از قطعه‌کار) و جهت مثبت محور X، از چپ به راست اپراتور (در راستای طول میز) است. به این ترتیب، جهت مثبت محور Y (در راستای عرض میز) به سمت ماشین خواهد بود.



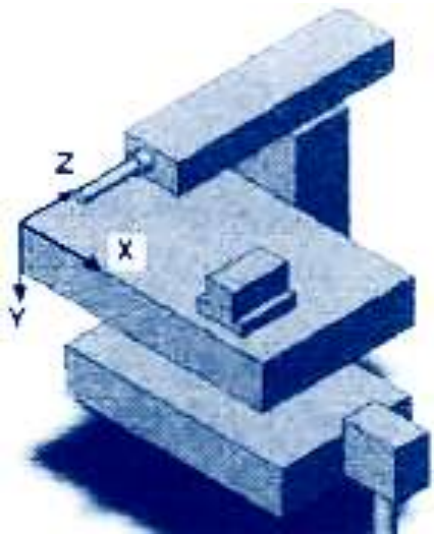
۲–ماشین فرز دروازه ای

در شکل زیر محل استقرار اپراتور مشخص شده است. محور Z، در راستای نفوذ ابزار (محور عمودی) و جهت مثبت آن به سمت بالاست. محور X، در راستای طول میز و از چپ به راست اپراتور است. پس راستای محور Y، منطبق بر عرض میز (یا در جهت Cross beam) و جهت مثبت آن مطابق شکل زیرخواهد بود.



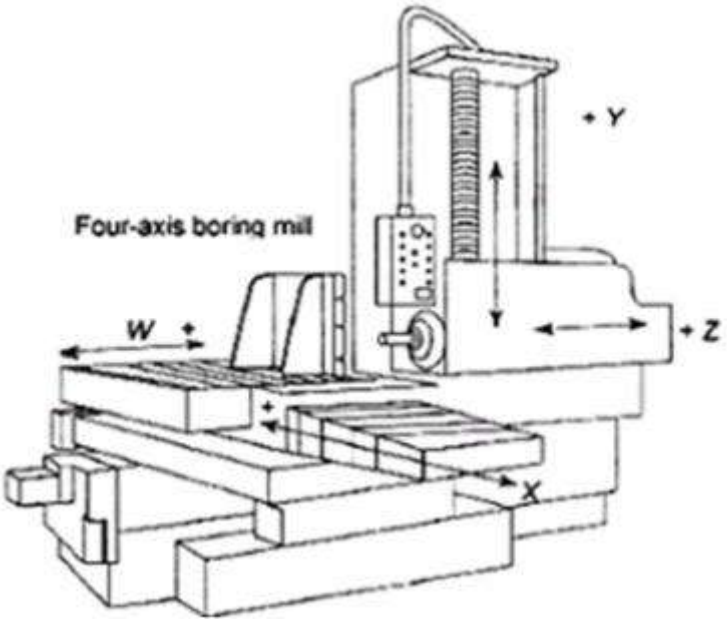
۳–ماشین فرز افقی کوچک تا متوسط

در این ماشینها، محور نفوذ ابزار افقی است و Z نام دارد. جهت مثبت محور Z به سمت دور شدن از قطعه‌کار خواهد بود. محل استقرار اپراتور در جلوی ماشین است؛ در نتیجه جهت مثبت محورX از چپ به راست خواهد بود (شکل زیر). بر اساس قانون دست راست، محور Y (عمودی) دارای جهت مثبتی به سمت پایین خواهد بود.



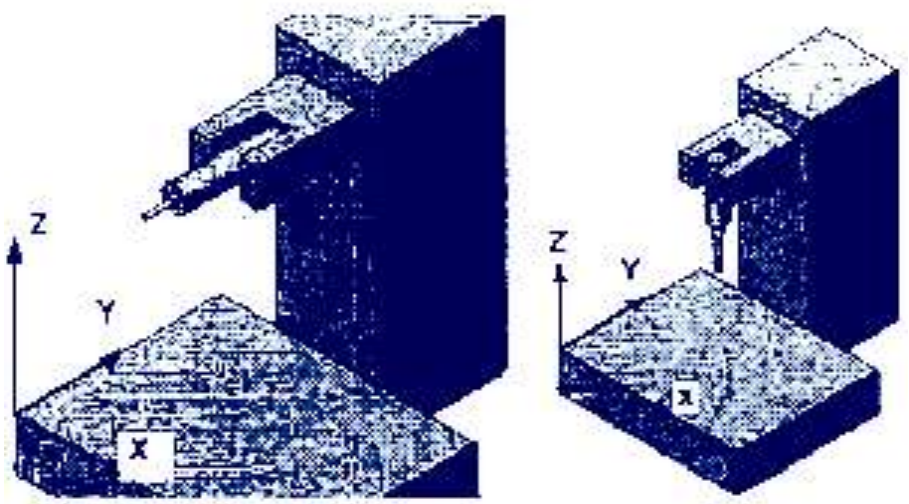
۴– ماشینهای بورینگ بزرگ

در این ماشینها، اپراتور در محلی پشت میز کار ماشین مستقر می‌شود تا به ابزار و قطعه‌کار مسلط باشد. محور نفوذ ابـزار (محور افقی در راستای عرض میز)، Z نامیده می‌شود. با توجه به موقعیت اپراتور جهت مثبت محور X، از چپ به راسـت اپراتور (از راست به چپ ناظری که روبه روی ماشین ایستاده است.) خواهد بود. با توجه بـه قـانون دسـت راسـت، جهـت مثبت محور Y، به سمت بالا خواهد بود. (شکل زیر)



۵–ماشینهای فرز یونیورسال

در ماشینهای فرز یونیورسال عمدتا نامگذاری محورها، مطابق با فرز عمودی است و هنگام تعویض هد از عمودی به افقی، نام وجهت مثبت محورها تغییری نخواهد کرد. به عبارت دیگر، در ماشین فرز یونیورسالی که در وضعیت افقی قرار گرفته است محور نفوذ ابزار، y نام خواهد داشت (شکل زیر).

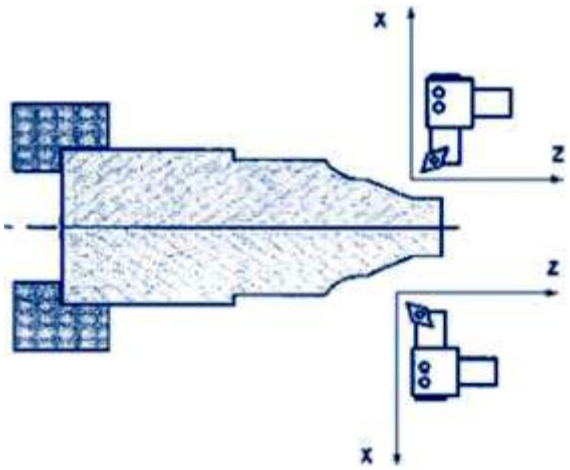


۴-۶-۲- نامگذاری محورهای مختصات در ماشین های تراش

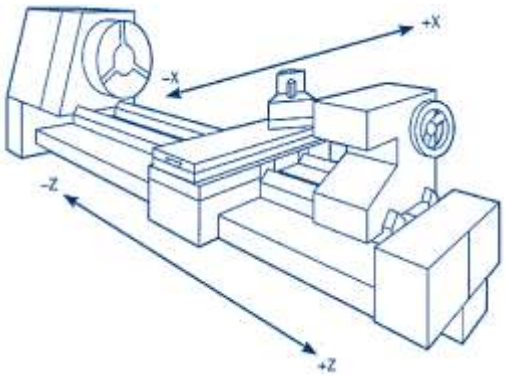
ماشین های تراش CNC، اعم از افقی یا عمودی (کاروسل) دارای دو محور مختصات می‌باشند:

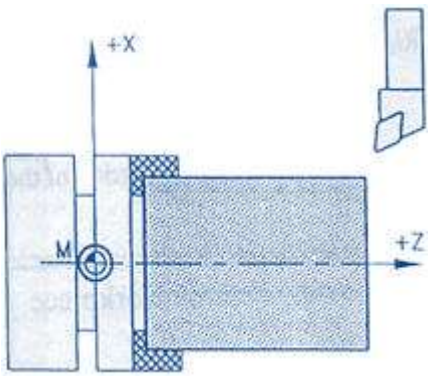
اصل اول: محور **Z** محوری است منطبق بر محور دوران قطعه‌کار (سه نظام) و Z نام دارد، جهت مثبت آن، به سمت دور شدن از قطعه‌کار (از سه نظام به طرف مرغک) است.

اصل دوم: محور **X** محوری است عمود بر Z که در راستای قطر قطعه‌کار قرار گرفته و سمت مثبت آن، به جهت دور شدن از قطعه‌کار است.



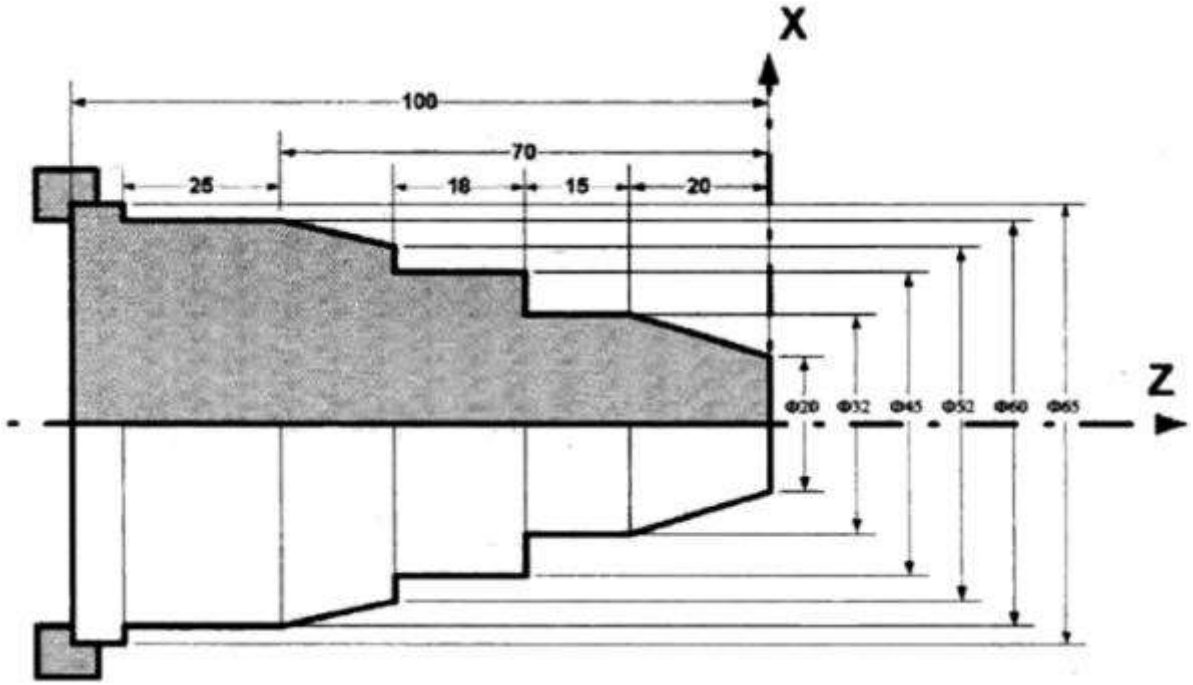
همان طورکه در شکل فوق دیده می‌شود جهت مثبت محور X، بستگی به محل استقرار ابزار گیر دارد. در هر صورت می‌توان گفت که جهت مثبت محور X، به سمت دور شدن از قطعه‌کار (یا از مرکز قطعه به سمت قطر بزرگ) است.





✓ **نکته**

باید توجه داشت که به علت متقارن بودن قطعات تراشکاری، ابزار فقط نیمی‌از قطعه را می‌تراشد. در این حالت می‌توان با زدن یک نیم برش روی نقشه قطعه، همان نیمه را به عنوان قطعه‌کار تلقی کرد. از آنجا که محور X روی قطر قطعه‌کار قرار گرفته است و نقطه صفر محور X بر مرکز دوران منطبق است، برای جلوگیری از محاسبات اضافی و سر درگمی، توافق شده است که مختصات نقاط روی محور X در برنامه به صورت قطری تعریف شوند. به این ترتیب،کنترل کننده CNC نیز موقعیت محور X را به صورت قطری روی صفحه نمایش خواهد داد (شکل زیر).

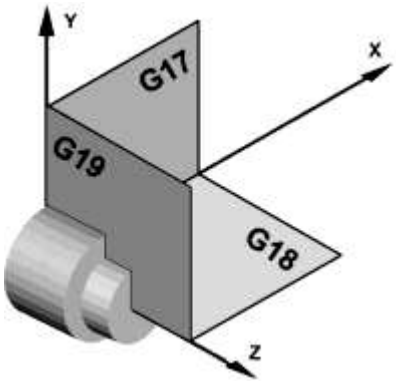


۴-۷- صفحات کاری (working planes)

در یک دستگاه مختصات سه بعدی،محورها دو به دو تشکیل یک صفحه را می‌دهند. بـه ایـن صفحات،صـفحات کـاری گفتـه می‌شود. صفحات کاری اصلی عبارتند از شکل زیر:

- صفحه **XY** : محور سوم Z
- صفحه **ZX** : محور سوم Y
- صفحه **YZ** : محور سوم X

برخی از عملیات ماشینکاری (مانند میان یابی دایره ای، مختصات قطبی، جبران شعاع ابزار و...)، فقط در صفحات کاری اصلی قابل اجرا خواهند بود.



✓ **نکته**

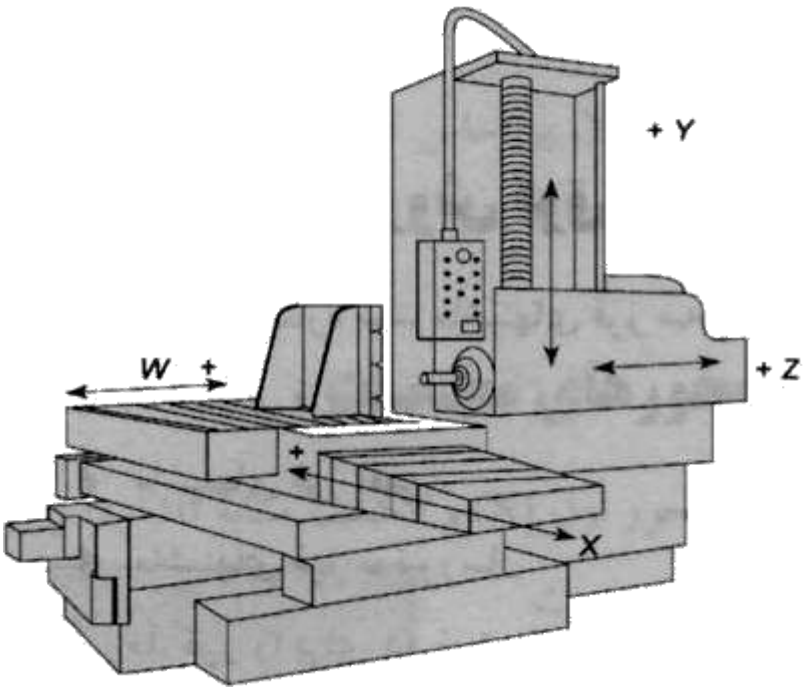
هنگام کار در یک صفحه کاراصلی، جهت دید به صفحه اهمیت زیادی دارد. جهت دید صحیح به یک صفحه کاری از سمت مثبت محور سوم (محور عمود بر صفحه) می‌باشد.

۴-۸- محورهای کمکی (Auxiliary Axes)

هر گاه دو محور به موازات یکدیگر قرار گیرند، یکی از محورها را اصلی و دیگری را کمکی قلمداد می‌کنند. معمولا محورهای کمکی، با اسامی U، V و W نامگذاری می‌شوند. اگر محور کمکی به موازات X باشد نام آن U، اگر به موازات Y نام آن V و اگر به موازات Z باشد نام آن W خواهد بود.

✓ **مثال:**

همان طور که گفته شد، ماشینهای بورینگ دارای یک حرکت اضافی برای اسپیندل (جهت نفوذ به سوراخهای عمیق) می‌باشند. در این ماشینها، محور اصلی، Z و محور کمکی، W نامیده می‌شود (شکل زیر).



✓ **مثال:**

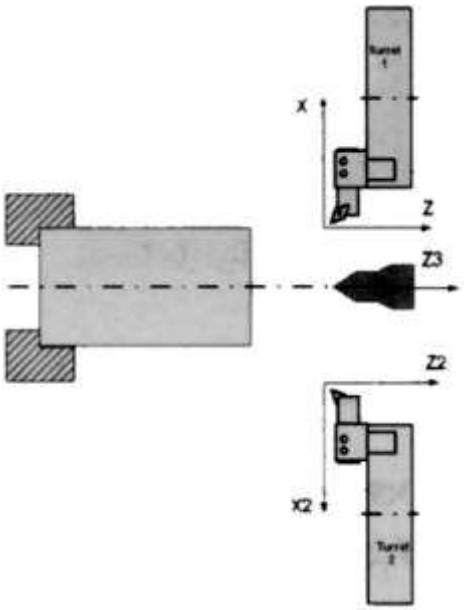
در ماشینهای تراش که دارای دو برجک (Turret) می‌باشند، باید برای هر برجک یک دستگاه مختصات دو محور تعریف شود. به همین دلیل می‌توان یکی از برجکها را به عنوان برجک اصلی (محور X و Z) و دیگری را به عنوان برجک کمکی (محورهای U و W) تعریف کرد.

✓ **نکته**

زمانی که تعداد محورهای موازی بیشتر از دو عدد است، معمولا از اندیس برای نامگذاری محورهای کمکی استفاده می‌شود.

✓ **مثال:**

ماشین تراش VDF25M، دارای دو برجک و محور مرغک در کنترل CNC است (شکل زیر).



✓ **نکته**

در ماشینهای بورینگ، محور کمکی وابسته به محوراصلی است. به عبارت دیگر، موقعیت محورکمکی با تغییر مکان محور اصلی جابه جا خواهد شد. برای جلوگیری از هرگونه اشتباه پیشنهاد می‌شود که ابتدا یکی از محورها را در یک موقعیت مناسب تثبیت نمایید و سپس محور دیگر را به مقدار لازم جابه‌جا کنید. از تغییر مکان مکرر هر دو محور در طول یک برنامه پرهیز کنید.

کدام محور را ثابت نگه داریم و کدام محور را جابه‌جا کنیم؟

❖ **پیشنهاد اول**، تثبیت محوری است که وزن بیشتری دارد و جابه جایی مکرر آن باعث استهلاک محور خواهد شد. به عنوان مثال، در ماشین بورینگ، تثبیت یک ستون (Column) که وزنش به مراتب بیشتر از اسپیندل است، پیشنهاد می‌شود.

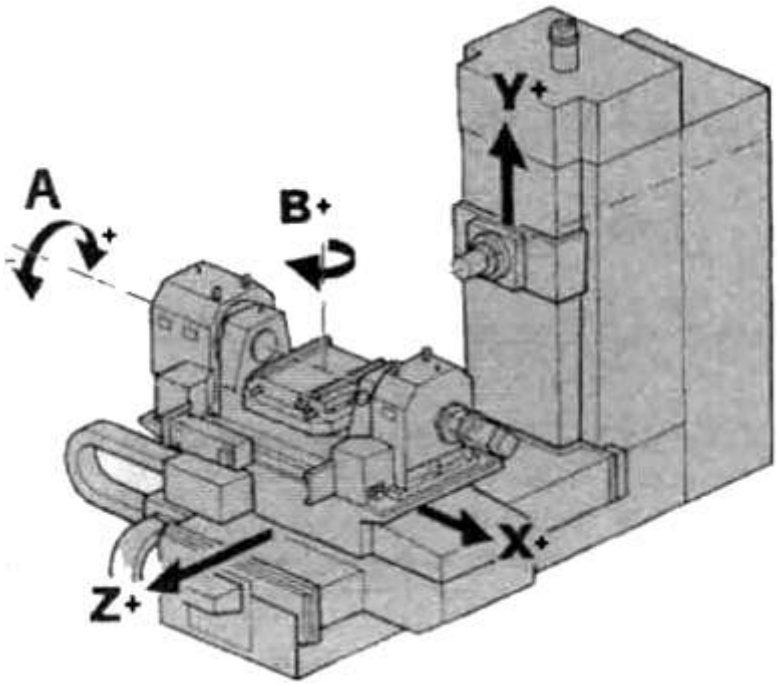
❖ در پیشنهاد اول، این مشکل وجود دارد که به علت کم بودن قطر اسپیندل و بالا بودن طول آزاد (overhang)، میزان خمش (Deflection) آن زیاد می‌شود و خطای قطعات افزایش پیدا می‌کند. حال به عنوان **پیشنهاد دوم**، اسپیندل را در کوتاهترین طول آزاد خود تثبیت کنید تا سایر حرکتها به ستون انتقال یابد.

✓ **نکته**

به منظور حل این مشکلات، ماشینهای بورینگی از نوع Ram Type طراحی و ساخته شده اند. در این نوع ماشینها، ستون هیچ گونه حرکت نفوذی ندارد. روی ستون، قطعه‌ای به شکل مکعب مستطیل با نام Ram یا Head Stock قرار می‌گیرد که اسپیندل در داخل آن حرکت کشویی دارد. Ram روی ستون حرکت نفوذی و عمودی خواهد داشت (شکل زیر). به این ترتیب، Ram نه تنها نسبت به اسپیندل از مقاومت بیشتری در مقابل خمش برخوردار است، بلکه نسبت به ستون نیز دارای وزن و استهلاک کمتری خواهد بود.

۴-۹- محورهای گردان (Rotary Axes)

برای کنترل زاویه میز یا هد گردان، محورهای گردان تعریف می‌شوند. محورهای گردان با استفاده از انکودرهای زاویه‌ای (Angular Encoders)، موقعیت زاویه‌ای میز یا هد را کنترل می‌کنند. این محورها با نامهای A، B و C تعریف می‌شوند. شکل زیر نشان می‌دهد که اگر محور گردان، حول محور X گردش نماید نام آن محور، A و اگر حول محور Y بچرخد نام آن محور، B و اگر حول محور Z دوران نماید نام آن محور C خواهد بود.



✓ **نکته**

جهت مثبت محور گردان بر اساس قانون دست راست تعیین می‌شود. توضیح اینکه اگر انگشت شست دست راست را در جهت مثبت محور خطی قرار دهیم انگشتان خمیده این دست، جهت محور دورانی را نشان خواهند داد.

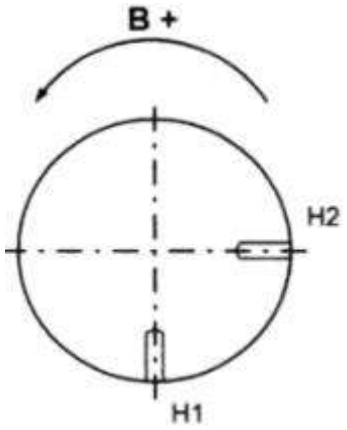
✓ **نکته**

در میزهای گردان، در اکثر موارد، جهت مثبت زاویه از دید ابزار محاسبه خواهد شد.

✓ **مثال:**

قطعه ای استوانه ای، روی میز گردان یک بورینگ بسته شده است. می‌خواهیم دو سوراخ را که زاویه بین آنها ۹۰ درجه است، روی محیط این استوانه ایجاد کنیم. اگر سوراخ شماره۱ (H1)، در زاویه صفر درجه قرار داشته باشد، زاویه سوراخ شماره۲ (H2) را چگونه باید برنامه ریزی کنیم؟

در مرحله اول باید نام محور دورانی را تعیین کنیم. از آنجا که میز گردان حول محور Y می‌چرخد، پس نام آن باید B باشد. جهت مثبت محورY به سمت بالا ست، در نتیجه جهت مثبت محور B (از دید ابزار) مطابق شکل زیر خواهد بود.

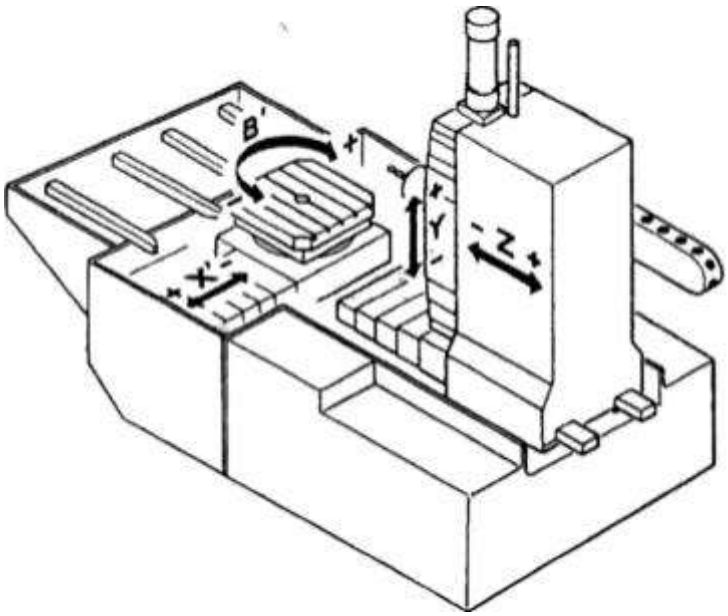


در مرحله بعد مشخص می‌شود که پس از سوراخکاری سوراخ شماره۱ (زاویه B0)، باید دستور B90 داده شود تا ابزار در موقعیت سوراخ ۲ قرار گیرد. عملا میز گردان خلاف جهت خواهد چرخید.

✓ **نکته**

نقطه مبنا (Base Point) برای دوران میزهای گردان، مرکز این میزهاست. هنگام استقرار قطعات،روی میز گردان باید محور دوران قطعات یا قید و بست (Fixture) بر مرکز میز منطبق باشد. به منظور شناساندن مختصات مرکز میز به CNC، سوراخی دقیق (H7) در مرکز میز ساخته شده است که با استفاده از ساعت اندازه‌گیری بر مرکز میز منطبق خواهد شد.

شرکت سازنده ماشین ابزار برای راهنمایی اپراتور معمولا با علائمی نام محورها و جهت مثبت آنها را مشخص می‌کند. اگر حرکت یک محور، روی جابه جایی میز تنظیم شده باشد نام محور همراه با پرین (مثلاً به صورت X') نشان داده خواهد شد (شکل زیر).



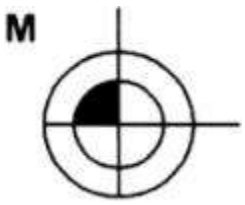
برای دسترسی کامل به پنج وجه یک قطعه شش وجهی، به دو محور گردان نیاز خواهد بود. در چنین مواردی میز یا هد گردان، در طول یک محور دیگر گردش خواهد داشت. این ماشینها را، پنج محور می‌نامند و برنامه‌نویسی آنها، عمدتاً با نرم افزارهای CAD/CAM امکان پذیر است.

۴-۱۰- نقاط مرجع (Refrence Points) در ماشینهای CNC

در هر ماشین CNC،می‌توان به پنج نقطه مرجع اشاره کرد.

۴-۱۰-۱- نقطه صفر ماشین (Machine Zero Point)

این نقطه مرجع را به عنوان نقطه صفر ثابت ماشین نیز می‌شناسند. موقعیت این نقطه، توسط سازنده ماشین تعیین شده است و اپراتور یا برنامه نویس مجاز به تغییر آن نیست. موقعیت این نقطه در ماشینهای مختلف، متفاوت است.



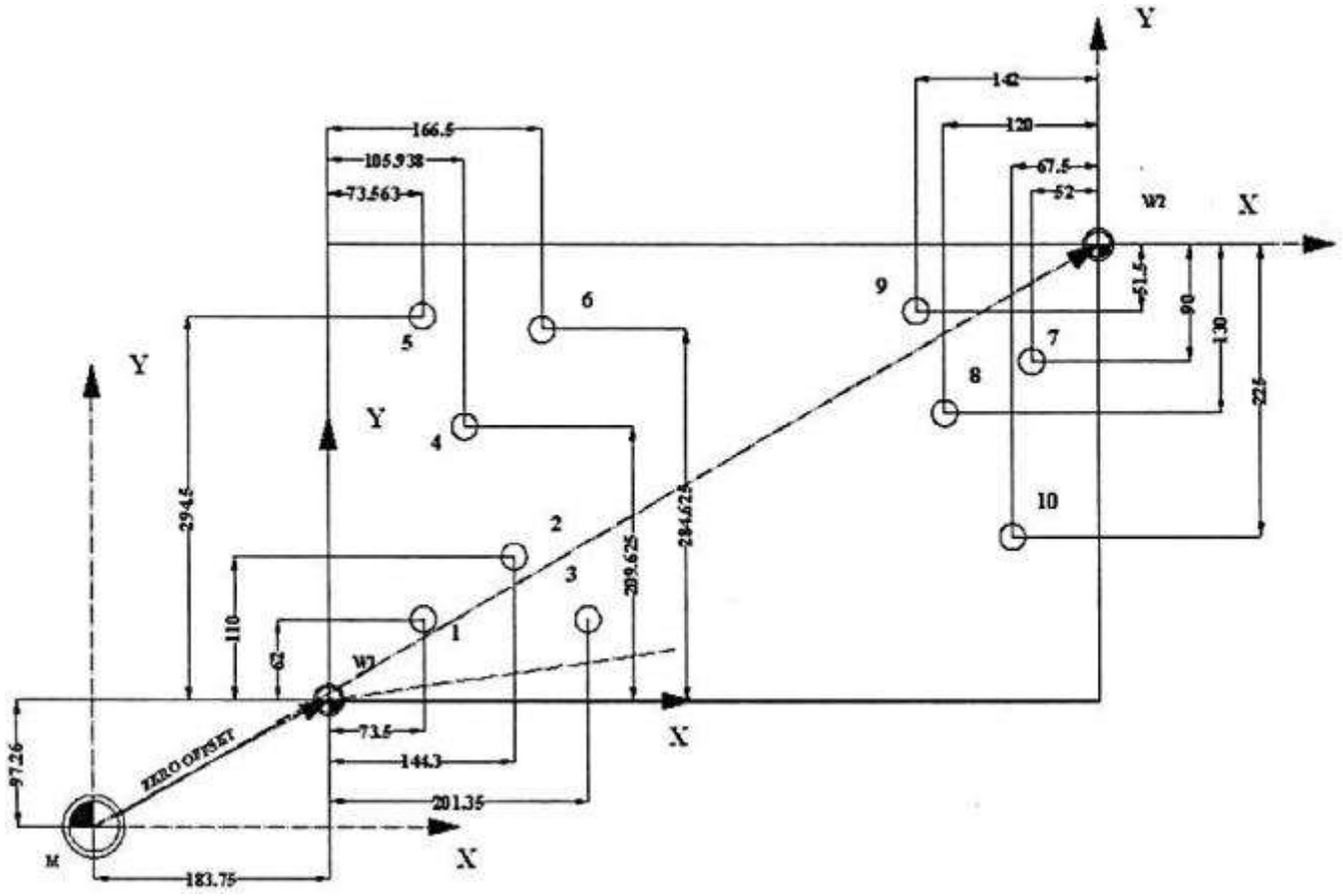
نکته مهمی‌که در ارتباط با نقطه صفر ماشین وجود دارد این است که سیستم اندازه‌گیری ماشینهای CNC می‌تواند آخرین موقعیت ابزار را نسبت به این نقطه تعیین کند و روی صفحه نمایش نشان دهد. به عنوان مثال سیستم کنترل زیمنس با عنوان MCS (Machine coordinate system) موقعیت ابزار را نسبت به این نقطه نشان می‌دهد.

۴-۱۰-۲- نقطه صفر قطعه‌کار (Workpiece zero point)

این نقطه مرجع رابه عنوان نقطه صفر شناور نیز می‌شناسند. موقعیت این نقطه، توسط برنامه نویس تعیین می‌شود. هدف از تعیین نقطه صفر قطعه‌کار، کاهش محاسباتی است که برنامه نویس انجام می‌دهد.

✓ مثال:

مطابق شکل زیر، نقشه قطعه‌ای در اختیار برنامه نویس قرار داده شده است تا برنامه سوراخکاری در نقاط مذکور نوشته شـود. از آنجا که کنترل کننده CNC، در ابتدا فقط نقطه صفر ماشین را می‌شناسد، باید برای بدست آوردن مختصات نقاط نسـبت به M محاسبات زیادی صورت گیرد.



بدین منظور، ابتدا قطعه‌کار روی میز در نقطه مناسبی مستقر شود و سپس فاصله نقاط ۱ تا ۱۰ نسبت بـه M تعیـین شـود. همان طور که در نقشه دیده می‌شود مختصات نقاط ۱ تا ۶، نسبت به گوشه پایین– سمت چـپ قطعـه‌کـار W_1 و مختصـات نقاط ۷ تا ۱۰، نسبت به گوشه بالا– سمت راست قطعه‌کار W_2 داده شده اند.

اگر ما بتوانیم مختصات نقاط W_1 تا W_2 را نسبت به M پیدا کنیم، مختصات نقاط ۱ تا ۱۰ بدست خواهند آمد:

$X_1=183.75+73.5$ $X_2=183.75+144.3$

$Y_1=97.26+62$ $Y_2=183.75+110$

اگر بتوانیم نقطه صفرجدیدی (منطبق بر W_1)را برای CNC تعریف کنیم، مختصات نقاط ۱ تا ۱۰ بدون محاسبات اضافی به دست خواهند آمد:

$X_1 = 73.5$ $X_2 = 144.3$

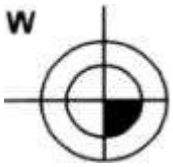
$Y_1 = 62$ $Y_2 = 62$

در ادامه،اگر نقطه W_2 رابه عنوان نقطه صفر بعدی تعریف کنیم، مختصات نقاط ۷ تا ۱۰ راحت تر به دست می‌آیند:

$X_7 = -52$ $X_8 = -120$

$Y_7 = -90$ $Y_8 = -130$

نقاط W_1 و W_2 را نقاط صفر قطعه‌کار می‌نامیم و عمل تعریف این نقـاط صـفر، Datum shift یـا Zero Offset نامیـده می‌شود. نقطه صفر قطعه‌کار در درون نقشه، با شکل زیر نشان داده می‌شود تعداد نامحدودی از نقاط صفر قطعه‌کار را می‌تـوان در برنامه تعریف کرد.



با وجود تعریف یک نقطه جدید به عنوان نقطه صفر، CNC نقطه صفر ماشـین را همچنـان مـی‌شناسـد و هرگـاه بخـواهیم، می‌توانیم به دستگاه مختصات قطعه‌کار (WCS) برگردیم (لغو Zero Offset).

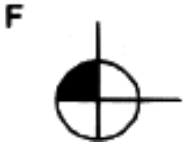
✓ **نکته**

برای بدست آوردن مختصات نقاط w_1 و w_2 نسبت به M می‌توان از مماس کردن یک ابزار دقیق یا (Touch Offset) بر دیواره‌های قطعه‌کار استفاده کرد. شرح کامل این روش در فصل ۸ کتاب مرجع (۱) آمده است.

برای انتقال نقطه صفر، می‌توان مقادیر بدست آمده از روش فوق را در حافظـه‌ای بـه نـام Zero Offset ذخیـره کـرد و سپس آنها در محل مناسبی از برنامه فعال نمود.

۴-۱۰-۳- نقطه مرجع ابزار گیر (Tool Holder Reference Point)

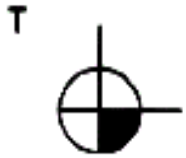
ابزارهای برشی که در ماشینهای CNC مورد استفاده قرار می‌گیرند، ابعاد متفاوتی دارند. برنامه‌ای که برای ماشـینکاری یـک قطعه نوشته می‌شود، نقطه معینی از ابزار را در نظر گرفته است، با این حال کنترل کننده CNC، ابتدا نقطه ای را می‌شناسد که برای همه ابزارها یکسان است. این نقطه که به عنوان نقطه مرجع ابزار گیر شناخته می‌شود معمولا در ماشینها فرز، مرکـز گلویی اسپیندل در سطح خارجی آن است در ماشینهای تراش CNC که از ابزارگیرهای VDL استفاده مـی‌کننـد، معمـولا مرکز سوراخ هر ایستگاه به عنوان نقطه مرجع اندازه‌گیری تعریف می‌شود. این نقطه را معمولا با حرفF نشان می‌دهند (شکل زیر).



اگر هیچ گونه اطلاعاتی در مورد ابزار به CNC داده نشود، کنترل کننده این نقطه را ملاک حرکت و موقعیت یابی خود قرار خواهد داد.

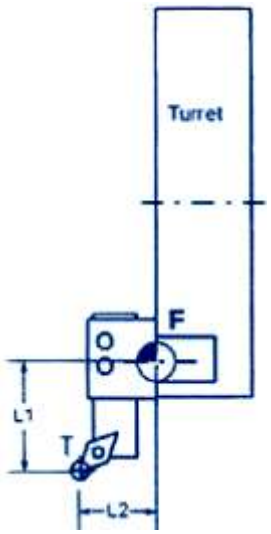
۴-۱۰-۴- نقطه مرجع ابزار (Tools Reference point)

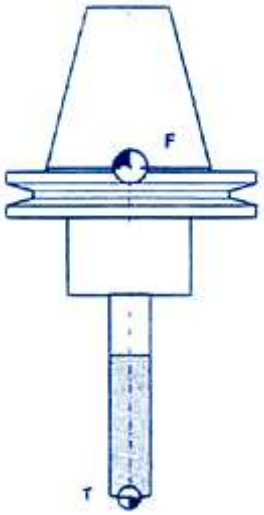
نقطه ای را که برنامه نویس به عنوان ملاک حرکت و موقعیت در نظر می‌گیرد (مانند نوک یک مته)، نقطه مرجع (صفر) ابزار می‌نامند. این نقطه را با حرف T نشان می‌دهند (شکل زیر).



فاصله این نقطه تا نقطه F، باید برای CNC تعریف شود تا کنترل کننده بتواند این نقطه را به عنوان ملاک حرکت و موقعیت محورها قرار دهد. اندازه‌گیری این فاصله (L) روشهای مختلفی داردکه در فصل ۷ مرجع (۱) به آن اشاره شده است. بخشی از حافظه اطلاعات CNC به فایلی با نام Tool Offset (که Tool Table یا Tool Data نیز نامیده می‌شود) اختصاص داده شده است. این فایل تقسیم بندی شده و هر قسمت آن، مخصوص اطلاعات هندسی یک ابزار است. ابزارها را شماره‌گذاری می‌کنیم و اطلاعات مربوط به هر ابزار را در نشانی خاص خود قرار می‌دهیم. هنگام اجرای برنامه، هر ابزار با کد ایستگاه خود در انباره ابزار فراخوانی می‌شود و اطلاعات آن با کد مربوط به نشانی در فایل Tool Offset فعال خواهد شد (شکلهای زیر).

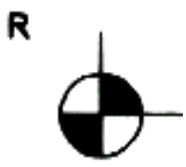
به عنوان نمونه: ابزار ایستگاه شماره ۸ با نشانی اطلاعات T8 D1





۴-۱۰-۵- نقطه رفرنس محورها

هر محور مختصات دارای یک نقطه رفرنس است. لزوم وجود نقطه رفرنس، به نوع انکودر بر می‌گردد. انکودرهای نسبی احتیاج به نقطهٔ رفرنس دارند؛ در حالی که در انکودرهای مطلق، نیازی به نقطه رفرنس نیست (شکل زیر).



۴-۱۰-۶- لزوم قراردادن نقطه رفرنس در انکودرهای نسبی

با توجه به مکانیزم کار انکودرهای نسبی که در فصل پیش توضیح داده شد، مشخص شد که انکودر نسبی می‌تواند فاصله بین دو نقطه شروع حرکت تا پایان آن (و نه فاصله نقطه پایان حرکت تا نقطه صفر محور) را اندازه‌گیری کند. این در حالی است که کنترل کننده CNC، در هر لحظه مختصات نقطه پایان حرکت را نسبت به نقطه صفر ماشین به ما نشان می‌دهد.

در واقع، کنترل کننده CNC آخرین موقعیت هر نقطه را درون یک حافظه قرارداده است و اندازه‌های ارسالی از انکودر را با آخرین مقدار حافظه جمع جبری می‌کند. موقعیتی که روی صفحه نمایش نشان داده می‌شود با استفاده از مقدار ذخیره شده در این حافظه است.

حافظه‌ای که آخرین موقعیت هر محور (Actual Position) در آن ذخیره می‌شود، یک حافظه موقت است. توضیح اینکه در صورت خاموش شدن ماشین، این اندازه ها پاک می‌شوند و پس از روشن کردن مجدد دستگاه، کنترل کننده آخرین موقعیت آخرین موقعیت محورها را نمی‌شناسد. برای حل این مشکل، در نقطه معینی از محور (نقطه رفرنس)، یک حسگر (مکانیکی یا الکترونیکی) قرارداده شده و فاصله آن تا نقطه صفر محور به دقت اندازه‌گیری شده است. این فاصله در یک حافظه دائمی (اطلاعات ماشین یا Machine Data) ذخیره شده است. پس از هر بار خاموش و روشن شدن ماشین، اپراتور باید محورها را به نقطه رفرنس هدایت کند. با دریافت علامت از جانب حسگر نقطه رفرنس، محور در همان نقطه متوقف می‌شود و عدد ذخیره شده در حافظه دائمی به حافظه موقت انتقال می‌یابد. به این ترتیب، CNC موقعیت نقطه صفر محور خود را شناسایی می‌کند. بنابراین در ماشینهایی که از انکودر نسبی استفاده می‌کنند، پس از هر بار خاموش و روشن ماشین، اپراتور باید کلیه محورها را رفرنس کند. قبل از رفرنس کردن محورها هیچ گونه عملی که به نوعی با نقطه صفر در ارتباط باشد، انجام نخواهد شد.

☺ چرا سازنده ماشین اطلاعات حافظه موقتی را که آخرین موقعیت محورها را درون خود دارد، با نصب یک باتری پشتیبان (Backup) دائمی نمی‌کند تا نیازی به رفرنس کردن محورها نباشد؟

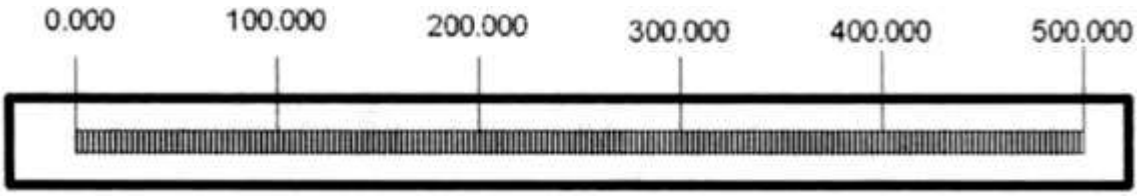
زیرا امکان دارد محورها در هنگام خاموش بودن سیستم کنترل جابجایی داشته باشند. این اتفاق ممکن است در زمان خاموش شدن ناگهانی ماشین در هنگام حرکت محورها (مثلا بر اثر قطع برق) یا جابجایی محورها برای تعمیرات رخ دهد. در حالت اول، سیستم کنترل (سیستم اندازه‌گیری موقعیت) بلا فاصله خاموش می‌شود، اما محورها به علت وجود اینرسی، بعد از چند لحظه، توقف کامل خواهند داشت و انکودر این جابجایی را اندازه‌گیری نمی‌کند.

☺ چرا در همه ماشینها از انکودر مطلق استفاده نمی‌شود؟

انکودر مطلق گران قیمت است و در اندازه های بزرگ (بیشتر از ۳ متر) ساخته نمی‌شود، درحالی که انکودر نسبی تا طول ۳۰ متر نیز ساخته شده است. تنها در ماشینهای CNC که رفرنس کردن محورها مشکلات بزرگی ایجاد می‌کند از انکودر مطلق استفاده می‌شود.

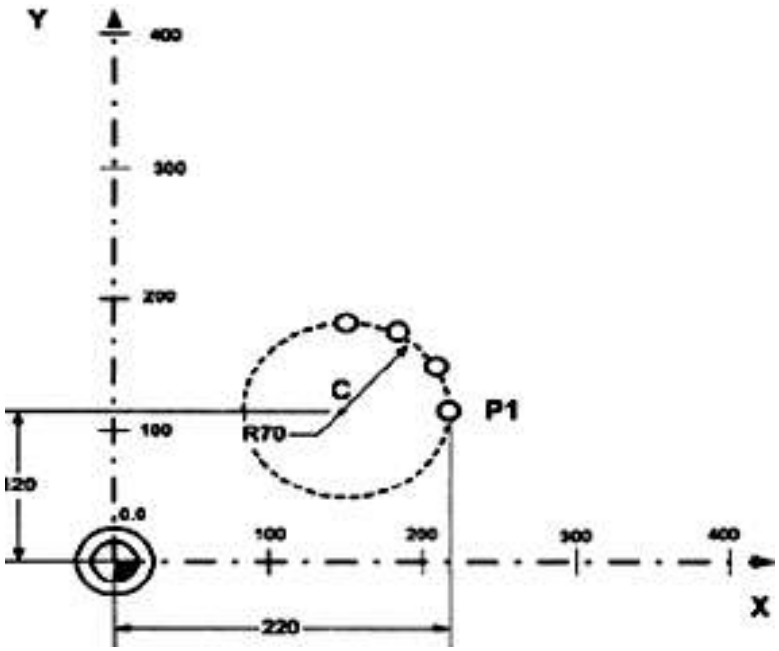
۴–۱۰–۷– انکودرهای نسبی کد بندی شده (Codified Incremental Encoders)

انتقال کلیه محورها به یک نقطه معین (برای رفرنس کردن) وقت زیادی را از ماشین خواهد گرفت. برای حل این مشکل از انکودرهایی استفاده می‌شود که نسبی اند و تنها در فاصله های معین دارای مختصات مطلق می‌باشند. به منظور رفرنس کردن هر محور، اپراتور محور را در جهت مورد نظر خود حرکت می‌دهد تا به یکی از نقاط مطلق برسد. ارسال کد هفت رقمی در آن نقطه، معادل یافتن صفر محور توسط سیستم و در حقیقت رفرنس شدن آن محور خواهد بود. با توجه به نزدیک بودن فاصله های این نقاط، زمان لازم برای رفرنس کردن محورها کاهش چشمگیری خواهد داشت (شکل زیر).

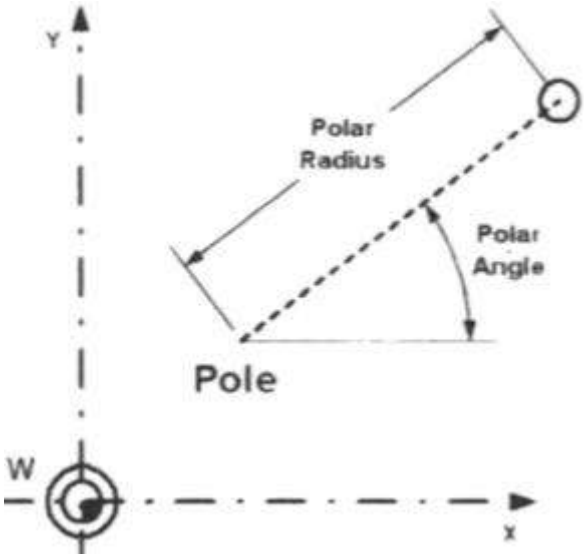


۴–۱۱– دستگاه مختصات قطبی (Polar Coordinate System)

در بعضی موارد، مختصات کارتزین نقاط مشخص نیست. در شکل زیر به خوبی دیده می‌شود که برای بدست آوردن مختصات مرکز سوراخها به صورت کارتزین، احتیاج به محاسبات زیادی خواهیم داشت.



استفاده از مختصات قطبی نیاز به محاسبات را کاهش می‌دهد. ما در دستگاه مختصات قطبی نیاز به یک نقطه (مانند مرکز دایره) به نام قطب (pole) داریم که باید مختصات کارتزین آن معلوم باشد. حال در صورت معلوم بودن فاصله نقطه تا قطب (شعاع قطبی) و زاویه قطبی می‌توان مختصات قطبی نقطه را با (R, α) تعیین کرد. آدرسهایی که به کمک آنها شعاع قطبی و زاویه قطبی تعریف می‌شوند در سیستمهای کنترل مختلف، متفاوتند (شکل زیر).



۴-۱۱-۱-فرمولهای تبدیل مختصات به کارتزین و بالعکس

❖ تبدیل مختصات قطبی به کارتزین

$$x = R\cos\alpha$$
$$y = R\sin\alpha$$

❖ تبدیل مختصات کارتزین به قطبی

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}$$
$$\alpha = \arctan\frac{y}{x}$$

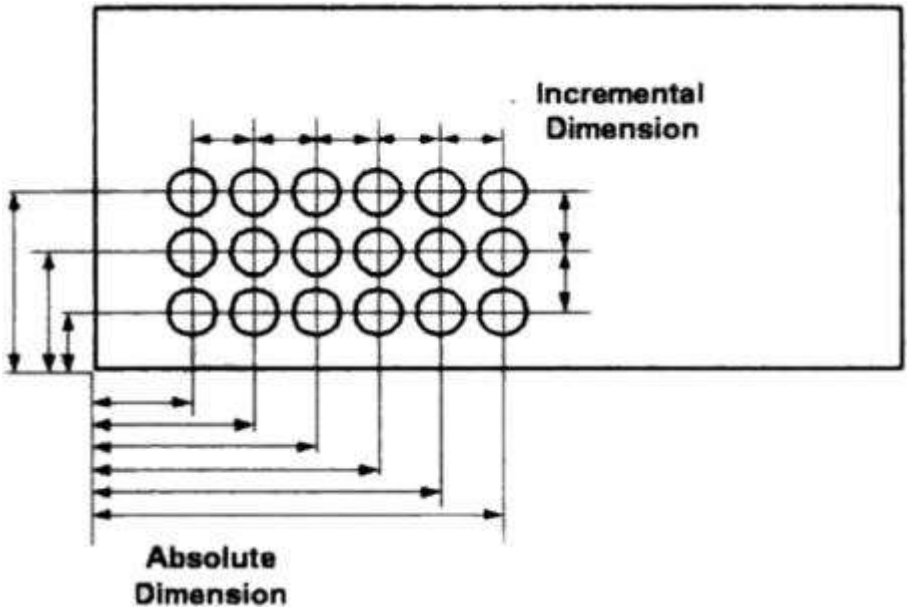
دستگاه مختصات قطبی، یک دستگاه کمکی است و دستگاه مختصات اصلی ماشین، همان دستگاه مختصات کارتزین به شمار می‌رود.

۴-۱۲- مختصات مطلق و نسبی (Absolute & Incremental Coordinates)

مختصات نقاط در نقشه ها به یکی از دو صورت زیر تعریف می‌شوند (شکل زیر):

❖ **مختصات نقطه نسبت به یک نقطه معین**: این مختصات را مطلق (Absolute Coordinates) می‌نامیم و آن نقطه معین را به عنوان نقطه صفر قطعه‌کار تعریف خواهیم کرد.

❖ **مختصات هر نقطه نسبت به نقطه قبلی**: این مختصات را نسبی، زنجیره‌ای یا افزایشی (Incremental Coordinates) می‌نامیم.



در برنامه‌نویسی CNC برای هر کدام از دو نوع مختصات فوق کد معینی تعریف شده است. با فعال کردن این کدها نوع موقعیت‌یابی سیستم تغییر خواهد کرد. استفاده از مختصات مطلق و نسبی، کاهش محاسبات و به تبع آن، کاهش خطا را درپی خواهد داشت.

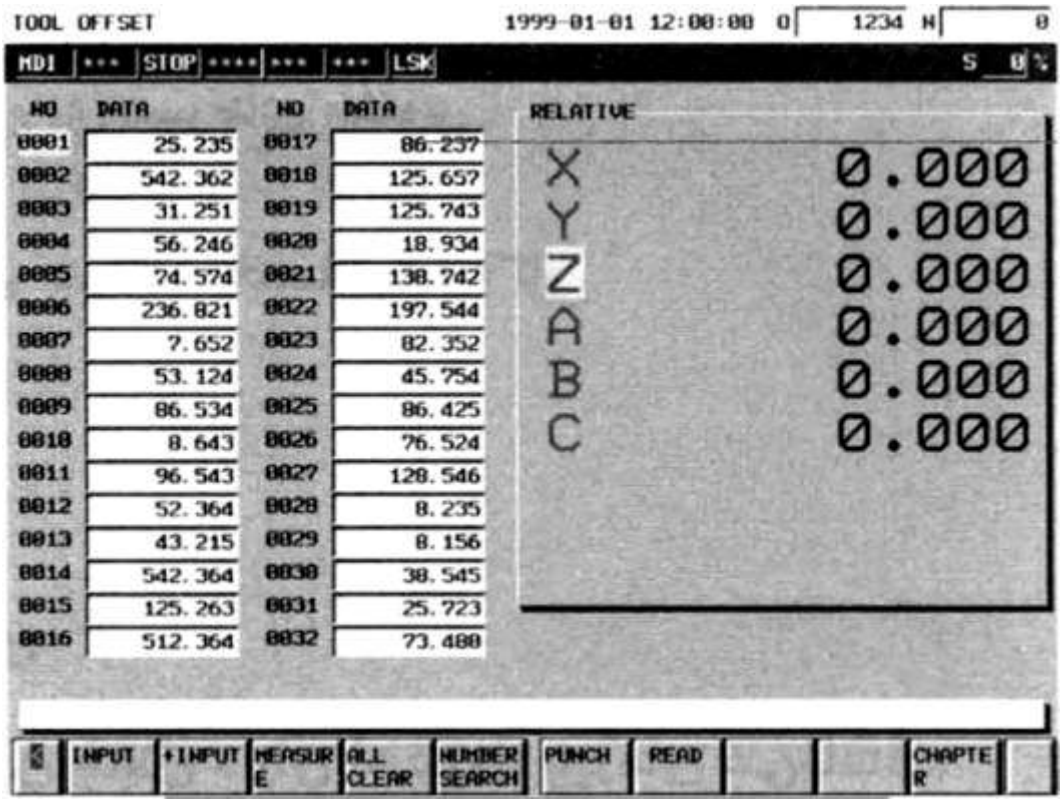
فصل پنجم:

برنامه‌نویسی CNC

۵-۱- ذخیره سازی اطلاعات در حافظه ماشینهای CNC

انواع اطلاعاتی که باید به حافظه CNC سپرده شوند عبارتند از:

- **اطلاعات برنامه (CNC Part Programs)**: انواع مختلف برنامه‌ها مانند برنامه اصلی، زیربرنامه، ماکرو و ... و در بخش حافظه برنامه ذخیره خواهند شد.
- **اطلاعات ابزارها (Tools Offset)**: اطلاعات هندسی و جانبی در مورد ابزارها در بخشی از حافظه که Tools Offset یا Tool Table نام دارد، ذخیره خواهند شد (شکل زیر).



- **اطلاعات هندسی (Zero Offset)**: ویژگی‌های دستگاه مختصات، مانند مختصات نقاط صفر قطعه‌کار و... در فایل Zero Offset ذخیره می‌شوند.
- **اطلاعات متفرقه**: مقادیر متغیرها در برنامه‌نویسی پارامتریک نیز می‌توانند در بخشی از حافظه ذخیره شوند.
- **اطلاعات ماشین (Machine Data)**: سیستم کنترل CNC، نیاز به اطلاعاتی در مورد پیکربندی (Configuration) ماشین خود دارد تا بتواند بخشهای مختلف ماشین را کنترل کند. بخشی از این اطلاعات، عبارتند از طول مسیر (Course)

محورها، حداکثر سرعت محورها، حداکثر سرعت اسپیندل (Spindle)، مختصات نقاط رفرنس محورها، مختصات محدود کننده‌ها (Limit Switch)، پارامترهای کنترل موقعیت، کنترل سرعت، ضریب بهره (Gain Factor) و ...

این اطلاعات، در قسمتی از حافظه که به نام Machine Parameters یا Machine Constants نیز خوانده می‌شود ذخیره می‌گردند. کنترلر CNC با خواندن این اطلاعات می‌تواند ماشین را بشناسد و کنترل کند. این اطلاعات بسیار مهم و حیاتی می‌باشند و معمولا با کلمه عبور (Password) یا سوئیچ حفاظت می‌شوند. این اطلاعات تنها درصورت لزوم باید به کمک بخش تعمیر و نگهداری که آموزش‌های لازم را دیده‌اند، تغییر کنند. تغییر اطلاعات ماشین توسط افراد آموزش ندیده می‌تواند بسیار خطرناک باشد و در بهترین شرایط منجر به کارکرد غلط یا کار نکردن ماشین شود. اشتباه بودن این اطلاعات نیز، منجر به کارکرد غلط دستگاه و وارد آوردن خسارتهای سنگین خواهد شد.

تذکر به پرسنل واحد نصب، راه اندازی یا تعمیرات:

تنها هنگامی اقدام به تغییر اطلاعات ماشین کنید که مطمئن باشید این کار ضرورت دارد و زمانی مقادیر اطلاعات ماشین را وارد یا اصلاح کنید که از درستی مقادیر مورد نظر خود مطمئن باشید. از روش آزمون و خطا در اصلاح یا وارد کردن اطلاعات ماشین، جداً پرهیز کنید.

۵-۲- حافظه اطلاعات (Data Memory)

تمامی‌اطلاعات ذکرشده، در حافظه‌ای به نام حافظه اطلاعات (Data Memory) ذخیره می‌شوند. این حافظه ممکن است به دو شکل در ماشین وجود داشته باشد:

۱- حافظه با دستیابی اتفاقی (RAM)

در بسیاری از کنترلهای CNC، حافظه اطلاعات از نوع RAM (Random Access Memory) است. ویژگی های این حافظه عبارتند از:

- سرعت خواندن و نوشتن اطلاعات زیاد است.
- با خاموش شدن ماشین، اطلاعات حافظه پاک خواهد شد مگر اینکه این حافظه مجهز به باتری پشتیبان (Backup) باشد.
- حجم حافظه محدود است.
- واحد پردازشگر مرکزی (CPU) مستقیماً از روی این حافظه، اطلاعات را می‌خواند و اطلاعات لازم را روی این حافظه ذخیره می‌کند.

۲-حافظه دائمی (Hard Disk)

در CNC های جدید از دیسک سخت یا حافظه دائمی استفاده شده است. ویژگی‌های این نوع حافظه عبارتند از:

- سرعت خواندن و نوشتن اطلاعات کندتر از RAM است.
- با خاموش شدن ماشین، اطلاعات پاک نخواهند شد.
- حجم حافظه بسیار بزرگتر از حافظه RAM است.

در این نوع سیستمها، حافظه دیگری نیز از نوع RAM وجود دارد که اطلاعات مورد نیاز CPU، روی آن بارگذاری (Load) شده‌اند. این اطلاعات در صورت بی‌استفاده ماندن، روی حافظ دائمی ذخیره‌سازی مجدد (Restore) خواهند شد. در این نوع سیستمها، نیازی به باتری پشتیبان نیست.

۵-۳- واسطه ورود اطلاعات (Data Input Media)

برای وارد کردن اطلاعات ذکر شده به حافظه اطلاعات ماشین، به یک واسطه ورود نیاز خواهیم داشت انواع واسطه های ورود اطلاعات به حافظه ماشین، عبارتند از:

الف- صفحه کلید ماشین

این وسیله متداولترین و در دسترس‌ترین واسطه برای ورود اطلاعات است. اپراتور با استفاده از کلیدهای موجود روی تابلوی اپراتوری ماشین، برنامه‌ها و سایر اطلاعات را وارد حافظه CNC می‌کند.

علاوه بر آنکه این روش بسیار کند و وقتگیر است، احتمال اشتباه و خطای انسانی نیز در آن وجود دارد. استفاده از صفحه کلید تنها در موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- وارد کردن اطلاعات مختصر و کم حجم (اطلاعات ابزار و ...)
- اصلاح اطلاعات موجود در حافظه

وارد کردن اطلاعات ماشین یا برنامه های حجیمی‌که با CAD/CAM نوشته شده اند، با صفحه کلید تقریبا ناممکن است.

ب– دستگاه نوار پانچ

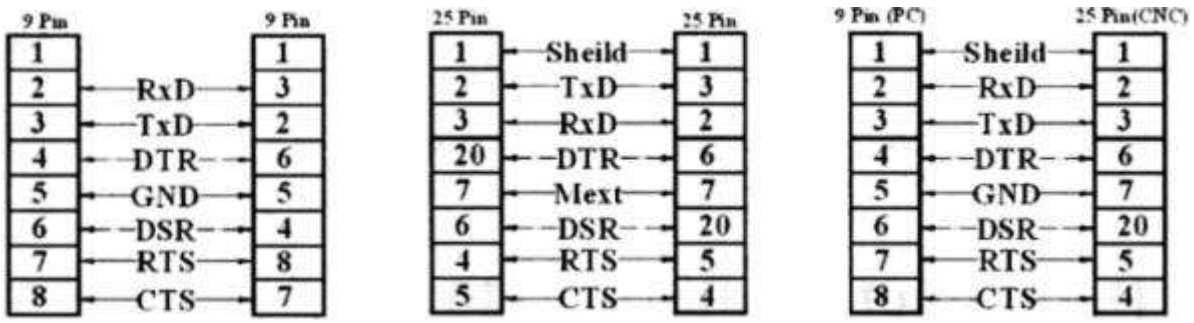
این یک روش قدیمی برای وارد کردن اطلاعات به شمار می‌رود. اطلاعات مورد نیاز، ابتدا به کمک دستگاه پانچ روی نوار مخصوصی پیاده می‌شوند و سپس دستگاه موجود روی ماشین CNC، این نوار را می‌خواند. دستگاه، سوراخها رابه کدهای برنامه تبدیل می‌کند و در حافظه ذخیره می‌نماید. این روش، دارای سرعت متوسطی است و امروزه به علت نیاز به دستگاه پانچ و دستگاه نوار خوان، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

ج– واسطه‌های (Interfaces) استاندارد RS232

بهترین روش برای تبادل اطلاعات زیاد (سرعت متوسط ۹۶۰۰ بیت بر ثانیه) و ارتباط دو طرفه خواهد بود. با این واسطه‌ها می‌توان از برنامه‌های موجود در حافظه CNC، یک نسخه پشتیبان تهیه کرد. تنها نیاز سخت افزاری تبادل اطلاعات به روش فوق، یک کابل ارتباطی (Link cable) است. با استفاده از یک کابل ۸ رشته‌ای و دو فیش (Socket) می‌توان ارتباط دو دستگاه را برقرار کرد.

یک سر این کابل، به درگاه (Port) سریال خانگی (com1/com2) وصل می‌شود. که آن هم می‌تواند ۹ یا ۲۵ پین باشد. سر دیگر این کابل، به درگاه RS232 (24V) دستگاه CNC وصل می‌شود. که آن هم می‌تواند ۹ یا ۲۵ پین باشد. فیشهای دو سر کابل باید با توجه به این دو درگاه انتخاب شوند.

چگونگی سیم‌بندی این نوع کابلها در مدارک فنی ماشینهای CNC تعریف شده است.



از لحاظ نرم‌افزاری به برنامه‌ای نیاز داریم که بتواند ارتباط این دو سیستم را برقرار نماید، برنامه های مختلفی وجود دارند که از میان آنها، برنامه PCIN، برای سیستمهای کنترل زیمنس و برنامه HARTCOMM برای سیستمهای کنترل هایدن‌هاین،

پیشنهاد می‌شوند. روش استفاده از این دو نرم افزار در فصل ۷ مرجع (۱) توضیح داده شده است و یک نسخه از این نرم‌افزارها در CD همراه آن مرجع وجود دارد.

برای ایجاد ارتباط بین دو سیستم کامپیوتری باید تنظیمات زیر، روی هر دو سیستم انجام شوند:

- سرعت انتقال اطلاعات (Baud Rate): واحد این پارامتر، بیت بر ثانیه (bit/s) و مقدار پیشنهادی ۹۶۰۰ است.
- Parity: یک بیت برای کنترل صحت اطلاعات وجود دارد که می‌تواند فرد (odd) یا زوج (Even) باشد.
- Data Bits: تعداد بیت های اطلاعاتی که معمولا ۷ تا ۸ است.
- Stop Bits: تعداد بیت های فاصله بین بایت ارسالی که معمولاً ۱ تا ۲ است.

نرم افزارهای فوق، کاراکترهای برنامه را (که حتما باید از نوع کاراکتر های ASCII باشند) به عددی بین ۰ تا ۲۵۵ تغییر می‌دهند و هر عدد را، به یک بایت (شامل ۸ بیت) تبدیل می‌کنند. سپس این ۸ بیت را برای سیستم مقابل ارسال می‌نمایند و به همین ترتیب بایت‌های ارسالی را دریافت و به کاراکتر ASCII برمی‌گردانند.

✓ **نکته**

چهار پارامتر فوق، باید در ماشین CNC و PC به صورت کاملا یکسان تعریف شده باشند. پس از برقراری ارتباط به روش فوق، حتما از آخرین اطلاعات ماشین یک نسخه پشتیبان تهیه کنید تا در صورت پاک شدن آن اطلاعات، قادر به ذخیره سازی مجدد (Restore) آن باشید.

د– استفاده از فلاپی

بسیاری از ماشینهایCNC، مجهز به یک فلاپی دارید (FDD) در کنار سیستم کنترل می‌باشند که مستقیماً با CNC ارتباط دارد و نیازی به کابل، نرم افزار و تنظیمات فوق نخواهند داشت. با این سیستم می‌توان اطلاعاتی در حد ۱/۴۴مگابایت (MB) انتقال داد.

✓ **نکته**

در بعضی از سیستم‌های کنترل CNC (مانند کنترل کننده هایدن‌هاین تا سری 400) این نوع FDD با قالب (Format) مخصوص خود کار می‌کند (و تحت قالب DOS نیست)، بنابراین اطلاعات روی فلاپی را نمی‌توان ویرایش کرد یا از روی دیسک سخت کامپیوتر منتقل نمود.

ه– ایجاد شبکه

در سیستمهای جدید CNC امکان ایجاد یک شبکه بین کنترل کننده های CNC در یک کارخانه وجود دارد تا به راحتی بتوان اطلاعات را میان ماشین‌ها رد و بدل کرد.

✓ **نکته:**

در صورتی که حجم برنامه‌ای که قرار است برای CNC ارسال شود، بیشتر از حجم حافظه CNC باشد باید برنامه را به صورت مداوم و با استفاده از سیستم DNC ارسال و در همان زمان اجرا نمود. (جهت کسب اطلاعات بیشتر به فصل ۷ مرجع (۱) مراجعه کنید.)

۵–۴– ساختار برنامه های CNC (Part Program structure)

هر برنامه CNC، از سه بخش تشکیل شده است (شکل زیر) که عبارتند از :

۱– عنوان/نام (Headline) برنامه CNC

هر برنامه باید دارای یک عنوان باشد تا بتوان آن را از برنامه‌های دیگر تشخیص داد. این عنوان، در فهرست برنامه‌ها ذکر خواهد شد و در سیستمهای کنترل مختلف با یکدیگر متفاوت است. به ویژه در هنگام انتقال اطلاعات به کمک واسطه باید این عنوان با دقت تمام رعایت شود؛ در غیر این صورت انتقال اطلاعات صورت نخواهد گرفت. حال با ذکر چند نمونه به توضیح بیشتر مطلب می‌پردازیم:

- **کنترل‌کننده زیمنس سری (800) آنالوگ**: علامت ٪ با یک عدد حداکثر چهار رقمی،
  به عنوان نمونه: %1383
- **کنترل کننده زیمنس سری 810/840 (دیجیتال)**: یک نام حداکثر ۲۴ کاراکتری، شامل حروف الفبا از A تا Z، ارقام از ۰ تا ۹ و Underline. همچنین نام برنامه باید حداقل دارای ۲ کاراکتر باشد و ۲ کاراکتر اول نیز عدد نباشد.
  به عنوان نمونه: TURBINESHAFT483_12

✓ **نکته**

هنگام وارد کردن برنامه به کمک یک کامپیوتر جانبی، معمولا عنوان برنامه در اولین خط قرار می‌گیرد. کنترلر CNC با خواندن این خط می‌فهمد که باید اطلاعات را در کدام بخش از حافظه اطلاعات ذخیره کند. به همین دلیل، ممکن است شکل کلی عنوان برنامه در این حالت با زمانی که برنامه از راه صفحه کلید وارد می‌شود تفاوت داشته باشد.

❖ سیستم کنترل زمینس سری 800 (آنالوگ):

%MPF1383

❖ سیستم کنترل زمینس سری 810/840 (دجیتال):

%_N_TURBINESHAFT483_12_MPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_SHAFTS_WPD

۲– پایان برنامه

پایان برنامه با یکی از کدهای M02 یا M30 تعیین می‌شود:

❖ عملکرد دستور M30: با رسیدن به دستور M30 اجرای برنامه خاتمه یافته تلقی می‌شود و سیستم کنترل به خط اول برنامه برمی‌گردد. اپراتور پس از تعویض قطعه‌کار با فشاردادن کلید START مجدداً برنامه را اجرا خواهد کرد.

❖ عملکرد دستور M02: پس از اجرای این دستور، برنامه تمام شده تلقی می‌شود. با این حال، در صورت وجود خطوطی بعد از این دستور، آنها نیز خوانده و اجرا خواهند شد.

✓ **نکته**

در سیستمهای کنترل زمینس، هیچ تفاوتی بین M02 و M30 وجود ندارد و عملکرد هر دو مشابه دستور M30 خواهد بود. درحالی که درسیستم کنترل هایدن‌هاین، زیربرنامه‌ها بعد از M02 قرار می‌گیرند. بدین ترتیب، خطوطی که بعد از M02 قرار دارند، تنها زمانی اجرا خواهند شد که در متن برنامه فراخوانی شده باشند.

۳– متن برنامه

اطلاعات دستورالعمل‌های لازم برای اجرای عملیات، در این قسمت گنجانده می‌شود. هر برنامه از تعدادی بلوک (Block) تشکیل شده است. بلوک‌ها پشت سر یکدیگر قرار گرفته‌اند و برنامه را می‌سازند. هر بلوک معمولاً حاوی یک مرحله عملیاتی (Operating Sequence) است.

ترتیب اجرای مراحل مختلف عملیاتی با چگونگی چیدن این بلوک‌ها تعریف خواهدشد. کنترلر CNC، این بلوک‌ها را به ترتیب قرارگرفتن، پردازش و سپس اجرا خواهدکرد.

✓ **نکته**

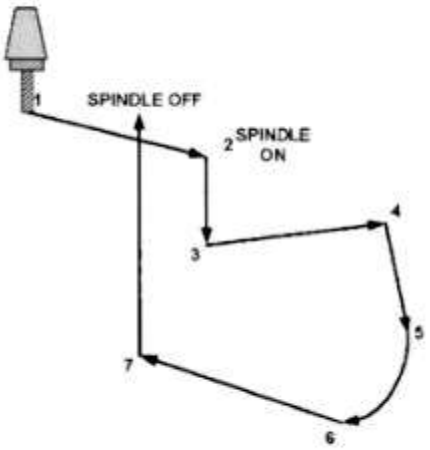
در برنامه‌نویسی پیشرفته با پرشهای شرطی و غیر شرطی می‌توان این توالی را تغییر داد.

✓ **مثال**

ابزار در نقطه ۱ مستقر شده و قرار است پس از رسیدن به نقطه ۲ اسپیندل روشن شود. سپس ابزار مسیرهایی را که از نقاط ۳ تا ۷ می‌گذرند، طی می‌کند و به نقطه ۸ می‌رود. در این نقطه اسپیندل خاموش می‌شود و تعویض ابزار صورت می‌گیرد (شکل زیر).

در صورت جابه جا شدن بلوکهای فوق، روش اجرای برنامه تغییر خواهد کرد. مثلا اگر جای بلوک ۲ را با بلوک ۳ عوض کنیم، پس از اتمام نفوذ ابزار، اسپیندل روشن خواهد شد.

بلوک ۱	مسیر 1 تا 2
بلوک ۲	روشن شدن اسپیندل
بلوک ۳	مسیر 2 تا 3 (نفوذ ابزار)
بلوک ۴	مسیر 3 تا 4
بلوک ۵	مسیر 4 تا 5
بلوک ۶	مسیر 5 تا 6
بلوک ۷	مسیر 6 تا 7
بلوک ۸	خروج ابزار از کار
بلوک ۹	خاموش شدن اسپیندل
بلوک ۱۰	تعویض ابزار

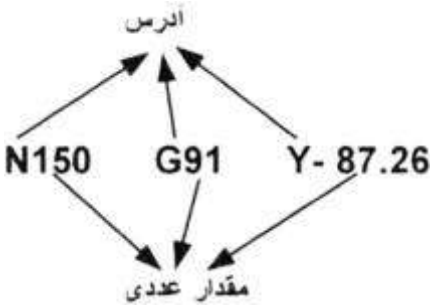


۵–۵– ساختار بلوک

هر بلوک از چند Word تشکیل شده است. یک Word می‌تواند یک دستورالعمل (Function)، اطلاعات هندسی و... برای اجرای برنامه باشد. اطلاعات لازم برای اجرای یک مرحله عملیاتی، در قالب Word و در همان بلوک یا بلوکهای قبلی آمده است (شکل زیر).

۵–۶– ساختار Word

در استاندارد DIN/ISO، هر Word با دو بخش آدرس و مقدار عددی تعریف شده است (شکل زیر) که در اینجا به توضیح آنها می‌پردازیم.



الف– آدرس

یک حرف لاتین از قبیل (D، F، K، G، L، Z، X، Y، T، S، M، G، N و....) است. هر آدرس، مبین نوع دستورالعمل یا اطلاعاتی است که در Word آمده است. تعدادی از آدرسها که کاربرد بیشتری دارند عبارتند از:

N: شماره بلوک

G: دستوالعمل های اصلی

M: دستورهای متفرقه

X, Y, Z: آدرس محورهای مختصات

I, J, K: پارامترهای میان یابی (Interpolation)

T: ابزار

S: سرعت اسپیندل

✓ **نکته**

در سیستم کنترل زیمنس 840D، از Word هایی مانند TRANS استفاده شده است. که از قالب فوق پیروی نمی‌کنند.

ب– مقدار عددی

با توجه به ماهیت آدرس، مقدار عددی می‌تواند به دو حالت عمل کند:

- اگر آدرس، نمایانگر یک گروه از دستورها باشد مقدار عددی به صورت یک کد عمل خواهد کرد و به عبارتی، مشخص کننده وظیفه دقیق Word خواهد بود. به عنوان مثال، دستور M30 یک Word است که آدرس آن M و مقدار عددی آن 30 خواهد بود. در اینجا آدرس M نشان دهنده گروه دستورهای متفرقه است و مقدار عددی 30 مشخص می‌کند که وظیفه M30 پایان دادن به برنامه است.
- آدرس، به خودی خود کاملا واضح و روشن است و نیازی به توضیحات اضافی ندارد. به عنوان مثال آدرس X، نشان دهنده مختصات محور X است. در اینجا (مثلا X-358.72) مقدار عددی به صورت یک مقدار ارزشی عمل می‌کند و مختصات محور X را نشان خواهد داد.

✓ **نکته**

در حالت اول مقدار عددی معمولا به صورت یک عدد صحیح بدون علامت ظاهر می‌شود، اما در حالت دوم مقدار عـددی می‌تواند اعشاری و همراه علامت باشد.

فقط علامت منفی (بین آدرس و مقدار عددی) آورده می‌شود.

فقط در سیستمهای کنترل قدیمی، آوردن 0 قبل از مقادیر عددی (نوع اول) لازم بود. در سیستمهای جدید هـیچ فرقـی بین M2 و M02 وجود ندارد.

آدرس و مقدار عددی همیشه با یکدیگر و بدون فاصله در برنامه قرار میگیرند.

ج– ترتیب قرار گرفتن Word ها

در اکثر سیسمتهای کنترل (ازجمله SINUMERIK) ترتیب قرار گرفتن Word ها، هیچ تاثیری در روال اجرای آنها ندارد. به عبارت دیگر، اگر دو عملکرد در یک بلوک تعریف شده باشند، CNC تصمیم می‌گیرد که کدام را اول اجرا کنـد. بـا تغییـر مکان این دو Word در بلوک برنامه، ترتیب اجرای آنها تغییر نخواهد کرد. به عنوان نمونه:

$$\underset{1}{\underline{N150}} \quad \underset{2}{\underline{G1}} \quad \underset{3}{\underline{Z-10}} \quad \underset{4}{\underline{M3}}$$

در بلوک فوق Word های ۲ و ۳ معرف یک جابجایی و Word شماره ۴ نشان دهندهٔ روشن شدن اسپیندل اسـت. طبیعتـا CNC، صرف نظر از موقعیت این Word ها، ابتدا شماره ۴ (روشن شدن اسپیندل) را اجرا خواهد کرد و سپس جابجـایی را صورت خواهد داد. در صورتی که مایلید اول جابجایی صورت می‌گیرد و سپس اسپیندل روشن شود، باید برنامه را به صـورت زیر بنویسید:

N150 G1 Z-10
N155 M3

با وجود این، سیستم کنترل SINUMERIK پیشنهاد می‌کند Word ها به ترتیب زیر نوشته شوند (الزامی نیست):

N… G… G… X… Y… Z… I… J… K… S… T… D… F… M… L_F

✓ **نکته**

در پایان هر بلوک معمولاً علامتی مبنی بر اتمام بلوک قرار می‌گیرد. این علامت را E.O.B (End of Block) یا Line Feed می‌نامند. این علامت، در بعضی از سیستمهای کنترل حذف شده است. به عنوان نمونه:

الف- سیستم کنترل SINUMERIK

- سری 800 (آنالوگ): عبارت LF
- سری 800 (دیجیتال): بدون علامت

ب- سیستم کنترل فانوک: علامت ;

در بعضی از سیستم های کنترل (مانند سیستم های کنترل فیلیپس و هایدن‌هاین) موقعیت هر Word از قبل در داخل بلوک مشخص شده است. در نتیجه ترتیب قرار گرفتن آنها به صورت خودکار انجام خواهد شد.

در بعضی از کنترل‌کننده‌ها (مانند فیلیپس) آوردن دو Word با آدرسهای یکسان در یک بلوک مجاز نیست.

در سیستم کنترل SINUMERIK قواعد زیر را رعایت کنید:

۱- آوردن دو آدرس G در یک بلوک، در شرایط زیر غیرمجاز است:

- دستورهای همگروه
- دستورهایی (مانند G04، G110، G111) که به طور مشخص در مورد آنها صحبت شده است.

۲- در هر بلوک حداکثر پنج آدرس M (در سری آنالوگ حداکثر سه آدرس M) را می‌توان تعریف کرد.

۳- سایر آدرس‌ها حداکثر یک بار می‌توانند در هر بلوک تعریف شوند.

۵-۷- تقسیم‌بندی دستورها از نظر عملکرد

دستورهای اصلی (Preparatory Functions)

این دستورها با آدرس G تعریف می‌شوند و مهمترین دستورها در استاندارد برنامه‌نویسی DIN/ISO به شمار می‌روند. به همین دلیل به این زبان برنامه‌نویسی، Gکد هم گفته می‌شود.

دستورهای حرکت محورها، تعریف دستگاه مختصات، جبران شعاع ابزار و ... همگی با Gکد تعریف می‌شوند. تعدادی از Gکدها (مانند G0، G1، G2، G3، G41 و G42) توسط استاندارد DIN 66025 تعریف شده‌اند. اکثریت کنترل‌کننده‌های CNC نیز بر همین اساس عمل می‌کنند. با این حال، تعدادی از Gکدها آزادند و هر سیستم کنترلی آنها را مطابق با خواسته خود تعریف کرده است.

دستورهای متفرقه (Miscellaneous Functions)

این دستورها که با آدرس M تعریف می‌شوند، به Mکد معروف شده‌اند. در اکثر موارد این دستورها فرمانی را برای PLC صادر می‌کنند (سیستم کنترل هایدن‌هاین نیز از Mکدها به همین شکل استفاده می‌کند).

از آنجا که آوردن یک Mکد همراه یک Gکد در یک بلوک برنامه مجاز است باید نکات زیر را مورد توجه قرار داد:

الف- درصورتی که Gکد، شامل یک عملکرد (مانند حرکت ابزار) باشد، لازم است تا ما از محل عملکرد Mکد در ابتدا یا انتهای بلوک آگاه باشیم. به عنوان نمونه:

در اکثر موارد M3 در ابتدای بلوک و M5 در انتهای بلوک عمل می‌کند.

```
N100 G1 Z-10 M3
N200 G1 Z2 M5
```

ب- ممکن است M کد، شامل فرمانی برای یک عمل مکانیکی (مانند دستور مرغک برای نگهداری قطعه‌کار) باشدکه مدت زمان معینی را برای اجرای آن می طلبد. چنانچه عملکرد بعدی ماشین موکول به پایان گرفتن این دستور باشد، دوحالت قابل پیش‌بینی است:

۱- سازنده ماشین، پیش‌بینی لازم را انجام داده است. به عبارت دیگر، بلوک بعدی زمانی اجرا خواهدشدکه اجرای این فرمان به پایان برسد و علامت (Signal) اتمام آن برای PLC صادر شود.

۲- سازنده ماشین، فرمان را به حالت اول برنامه ریزی نکرده یا امکان آن وجود نداشته است. در این صورت با اینکه هنوز عملکرد این دستور پایان نیافته است بلوک بعدی درمرحله اجرا قرار می‌گیرد وهمراه با توقف ماشین، پیغام خطا صادر خواهدشد. در این حالت برنامه‌نویس باید قبل از بلوک حاوی دستور بعدی، یک بلوک شامل مکث زمانی (Dwell Time) با مدت زمان کافی در برنامه بگنجاند (کد G04).

دستورهای کمکی (Auxiliary)

دستورهای S، T، F و ... دستورهای کمکی خوانده می‌شوند.

۵-۸- تقسیم بندی دستورها از نظر پایداری

کلیه دستورها را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

دستورهای پایدار (Modal)

دستورهای پایدار پس از فعال شدن همچنان مؤثر و پایدار می‌مانند تا با دستور دیگری (ازگروه خودشان) لغو یا جایگزین شوند. به این ترتیب تا زمانی که یک دستور پایدار لغو نشده‌است نیازی به تکرار در بلوک‌های بعدی ندارد.

```
N110 G1 X100 Y200
N115 X–50 Y80
N120
. . .
N165
N170 G0 Z300
```

دربلوک‌های N115 تا N165 دستور پایدار G1 فعال است. در بلوک N170، دستور G0 که هم گروه با دستورG1 است، فعال شده‌است و در نتیجه دستورG1 لغو خواهدشد.

✓ **نکته**

آوردن دستورهای پایدار دربلوک‌های بعدی اشکالی ندارد و فقط حافظه بیشتری را اشغال خواهدکرد.

دستورهای ناپایدار (Nonmodal)

دستورهای ناپایدار تنها درون بلوک خودشان فعال و مؤثر می باشند و با پایان بلوک، خودبه‌خود لغو می‌شوند. درصورت نیاز به این نوع دستورها دربلوک‌های بعدی، مجدداً باید آنها را فراخواند.

به عنوان نمونه، دستور G04 (مکث زمانی برحسب ثانیه) یک دستور ناپایدار است:

N75 G04 F2
N85 G04 F1

دستورهای ناپایدار ممکن است به دو صورت عمل کنند:

- پس از لغو دستور، اثرشان نیز از بین برود (مانند G53 – لغو محل فعلی صفر قطعه‌کار).
- با وجود لغو دستور، اثر آنها باقی بماند (مانند G110 – تعریف قطب برای مختصات قطبی).

✓ **نکته**

تعیین پایدار یا ناپایدار بودن هردستور برعهده طراح سیستم کنترل است.

هردستور پایدار نیاز به یک دستور لغو کننده یا جایگزین‌شونده دارد.

۵–۹– شماره‌گذاری بلوک‌ها در یک برنامه CNC

آدرس N، برای شماره‌گذاری در بلوک‌ها پیش‌بینی شده‌است. در مورد شماره‌گذاری باید موارد زیر در نظرگرفته شود:

- ذکر شماره بلوک در بعضی از سیستم های کنترل (مانند فیلیپس) الزامی و در تعدادی از سیستم‌های کنترل (مانند زیمنس) اختیاری است.
- شماره بلوک حتماً باید در ابتدای آن قرارگیرد.
- شماره بلوک‌ها هیچ تأثیری در روند اجرای برنامه ندارند. به عبارت دیگر، بلوک‌های برنامه به ترتیب قرارگرفتن در متن برنامه اجرا خواهندشد.

ترتیب اجرای بلوک‌ها	شماره بلوک
۱	N5 . . .
۲	N10 . . .
۳	N100 . . .
۴	N4 . . .
۵	. . .
۶	N230 . . .

یادآوری

پرش‌های شرطی و غیرشرطی، روال اجرا را تغییر می‌دهند (به فصل ۴ مرجع ۱ مراجعه شود).

- مقدارعددی آدرس N، یک عدد صحیح است که معمولاً از ۱ رقم شروع می‌شود و می‌تواند حداکثر تا ۴ رقم (در بعضی از کنترل‌کننده‌ها تا ۶، ۸ و . . . رقم) افزایش یابد.

N1 . . .
N2 . . .
. . .
N9999 . . .

- تکراری بودن شماره خطوط در سیستم کنترل زیمنس، اشکالی ایجاد نخواهدکرد.

باتوجه به این موضوع که در صورت وجود خطا در برنامه، شماره بلوک دارای خطا اعلام خواهدشد، پیشنهاد می‌گردد شماره‌گذاری بلوک‌ها به صورت مرتب و به طور تصاعدی انجام شود تا در صورت اعلام خطا، به راحتی بتوان موقعیت آن را پیدا کرد:

N5 . . .
N10 . . .
N15 . . .
N20 . . .

در سیستم کنترل SINUMERIK 810/840D می‌توان ویرایشگر (Editor) برنامه را طوری تنظیم کرد که شماره‌گذاری بلوک‌ها به طور خودکار و با گام معینی صورت پذیرد.

۵-۱۰- بررسی دستورهای اصلی (G کدها)

همانطور که گفته‌شد دستورهای اصلی مهمترین دستورها در زبان برنامه‌نویسی DIN/ISO میباشند.

۵-۱۰-۱-گروه بندی دستورهای اصلی

دستورهای اصلی در چند گروه دسته‌بندی می‌شوند. مبنای دسته‌بندی، شباهت (هم‌سنخ بودن) وظایف دستورهای هم‌گروه است. به عنوان نمونه:

الف- گروه دستورهای حرکت ابزار (میان‌یابی)

G0: حرکت خطی با حداکثر سرعت.

G1: حرکت خطی با سرعت قابل تعریف.

G2: حرکت دایره‌ای موافق گردش عقربه‌ها.

G3: حرکت دایره‌ای مخالف گردش عقربه‌ها.

ب- گروه دستورهای تعیین کننده صفحات کاری:

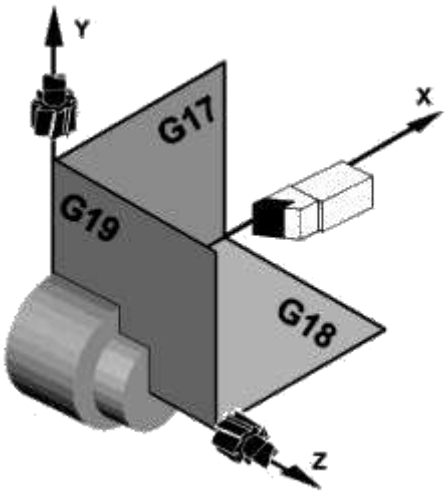
G17: صفحه کاری XY

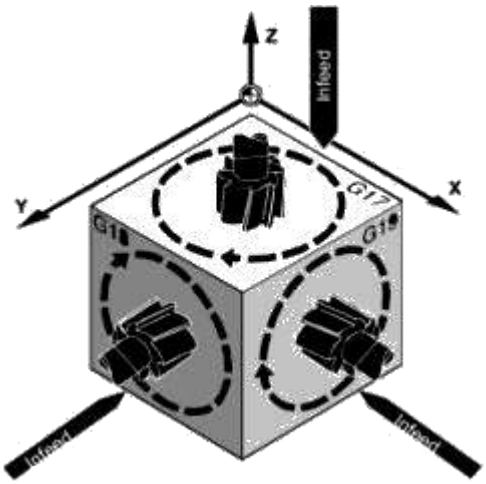
G18: صفحه کاری ZX

G19: صفحه کاری YZ

Group 6: Plane selection				
G17	1.	Plane selection 1st - 2nd geometry axis	m	Def.
G18	2.	Plane selection 3rd - 1st geometry axis	m	
G19	3.	Plane selection 2nd - 3rd geometry axis	m	

m: modal
n: Non-modal
Def.: Default





Group 1: Modal motion commands				
Name	**No.**	**Meaning**	**m/n**	**Def.**
G0	1.	Rapid traverse motion	m	
G1	2.	Linear interpolation	m	Def.
G2	3.	Circular interpolation clockwise	m	
G3	4.	Circular interpolation counterclockwise	m	
CIP	5.	Circular interpolation through point	m	
ASPLINE #	6.	Akima spline	m	
BSPLINE #	7.	B spline	m	
CSPLINE #	8.	Cubic spline	m	
POLY ##	9.	Polynomial interpolation	m	
G33	10.	Thread cutting with constant lead	m	
G331	11.	Rigid tapping	m	
G332	12.	Return (rigid tapping)	m	
G58		Axial-programmable absolute zero offset	m	
G59		Axial-programmable additive zero offset	m	
OEMIPO1 ###	13.	OEM interpolation 1 *)	m	
OEMIPO2 ###	14.	OEM interpolation 2 *)	m	

نام یا شماره گروه دستورها اهمیتی ندارد. آنچه اهمیت دارد این است که:

- دستورهای همگروه با یکدیگر ناسازگارند.
- فعال شدن هر دستوری از یک گروه، آخرین دستور را از گروه خود لغو می‌کند.
- آوردن دو دستور از یک گروه، درون یک بلوک غیرمجاز است.
- در هر لحظه، تنها یک دستور از یک گروه فعال خواهد بود.

در هر گروه، یک دستور به عنوان پیش‌فرض (Default) معرفی می‌شود. در ابتدای برنامه، دستورهای پیش‌فرض به صورت خودکار فعال می‌شوند و تا زمان فراخواندن دستور دیگری از گروه خودشان فعال می‌مانند.

✓ **نکته**

پیشنهاد می‌شود به منظور اطمینان بیشتر، دستورهای پیش‌فرض نیز در ابتدای برنامه آورده‌شوند. به عنوان نمونه:

N5 G17 G71 G90

دستورهای فوق، همگی پیش‌فرض می‌باشند:

G17: صفحه کاری فعال XY (پیش‌فرض در فرز)

G71: سیستم اندازه‌گیری فعال متریک

G90: سیستم مختصات فعال مطلق

بعضی از دستورهای اصلی (مانند دستور G04) حتماً باید در یک بلوک مجزا قرار گیرند. علت این امر، احتمال تداخل اطلاعات و پارامترها با دستورهای دیگر است.

۵-۱۱- دستورهای جابجایی ابزار (Tool Motion)

دستورهای جابجایی ابزار در سیستم کنترل SINUMERIK در گروه ۱ قرار گرفته‌اند (شکل بالا). در این گروه، دستورهای مربوط به حرکت بر اساس میانیابی (خطی، دایره‌ای، حلقوی، پیچ‌تراشی، قلاویززنی و ...) قرار می‌گیرند.

۵-۱۱-۱-انواع حرکت‌های خطی

هدف از اجرای دستورهای حرکت خطی، جابجایی ابزار روی یک مسیر مستقیم است.

الف- کد G0

حرکت خطی با حداکثر سرعت (Rapid) و بدون براده‌برداری

تشریح حرکت

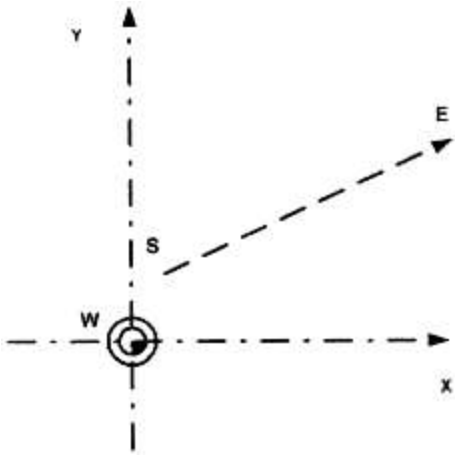
هرگاه ابزار باید بین دو نقطه، بدون هیچ گونه درگیری (یا حتی تماسی) با قطعه‌کار، حرکت کند از حرکت خطی با حداکثر سرعت استفاده می‌شود. روش کنترل محورها ممکن است به یکی از دو صورت زیر باشد:

❖ **با میان‌یابی خطی**

دراین حالت همهٔ محورها همزمان به نقطه پایانی خود خواهند رسید. به عبارت دیگر، کوتاهترین فاصلهٔ بین دو نقطه طی می‌شود. در این روش هر یک از محورها که باید مسیر طولانی‌تری طی کند با حداکثر سرعت تعریف شده در اطلاعات ماشین (Machine Data) حرکت می‌کند و سایر محورها متناسب با فاصله‌شان تا نقطه هدف، سرعت‌های کمتری خواهند داشت (شکل زیر).

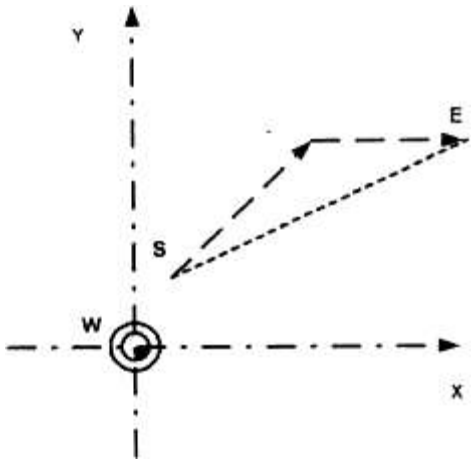
برتری: مسیر حرکت ابزار کوتاه، کاملاً مستقیم و قابل پیش‌بینی است.

کاستی: به علت کاهش سرعت محورها، زمان طولانی‌تری صرف خواهد شد.



❖ **بدون میان‌یابی خطی**

کلیه محورها با حداکثر سرعت، پیشروی خواهند کرد. هر محوری که به نقطه هدف خود برسد، می‌ایستد و سایر محورها حرکت خودشان را ادامه خواهند داد. در این صورت اگر سرعت حرکت محورها مساوی تعریف شده باشد، ابزار یک مسیر خطی را با زاویه ۴۵° شروع می‌کند و سپس به صورت تک محور تا نقطه هدف ادامه خواهد داد (شکل زیر).



برتری: از حداکثر سرعت محورها استفاده شده‌است. به عنوان مثال، اگر حداکثر سرعت هر محور ۱۰ متر بر دقیقه (m/min) باشد در طی مسیر ۴۵° سرعت حرکت ابزار ۱۴/۲ m/min خواهد بود.

کاستی: مسیر طولانی‌تری طی شده‌است. مسیر حرکت مستقیم نیست و احتمال برخورد با سایر تجهیزات وجود دارد.

شکل کلی دستور

N... G00 X... Y... Z...

توضیح پارامتر ها

X، Y و Z: مختصات نقطه پایان مسیر خطی

در برنامه‌نویسی CNC، همیشه مختصات نقطه پایان مسیر (نقطه هدف) ذکر می‌شود. به عبارت دیگر، موقعیت ابزار همیشه در نقطه شروع مسیر فرض می‌شود و این بدان معناست که ما باید در بلوک‌های قبل، ابزار را به نقطه شروع آورده باشیم. به عنوان نمونه:

```
N50 G0 X90 Y70
N55 X30 Y25
N60 X–42 Y83
```

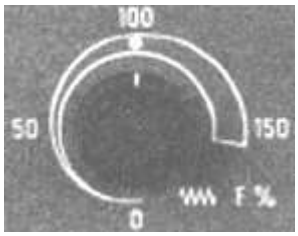
مختصات نقطه هدف می‌تواند مطلق یا نسبی باشد (در ادامه این فصل، دستورهای G91/G90 مربوط به فعالسازی مختصات مطلق و نسبی تشریح خواهد شد). از آنجا که دستورهای مختصات مطلق و نسبی از گروه دیگری می‌باشند، آوردن این دستورها با G0 دریک بلوک اشکالی ندارد.

✓ **نکته**

حداکثر سرعت محورها در کد G0 در اطلاعات ماشین تعریف می‌شود و در اکثر سیستم‌های کنترل امکان تعریف این سرعت در برنامه وجود ندارد.

از آنجا که سرعت محورها در کد G0 بسیار بالاست (به ویژه در ماشین‌های جدید که به حدود ۱۰۰ m/min و بالاتر نیز میرسد) پیشنهاد می‌شود هنگام استفاده از کد G0 با احتیاط بیشتری عمل کنید.

روی تابلوی کنترل ماشین، پتانسیومتر کنترل سرعت پیشروی (Feed Override) قرار دارد. با این وسیله می‌توان سرعت پیشروی محورها را از 0 تا 100% سرعت پیش‌بینی شده کنترل کرد.



هنگام اجرای یک برنامه برای اولین بار، با استفاده از کنترل سرعت پیشروی می‌توانید تسلط بسیار خوبی بر اجرای خطوط G0 داشته باشید. (برای اطمینان بیشتر، درحالت اجرای خط به خط -Single Block - برنامه را آزمایش کنید).

توجه

در بعضی از ماشین‌های CNC، دستور G0 تحت کنترل پتانسیومتر سرعت پیشروی قرار ندارد. یا اینکه یک پتانسیومتر مجزا برای کنترل G0 پیش‌بینی شده‌است، قبل از اجرای دستور G0 از این موضوع مطمئن شوید.

✓ **نکته**

هنگام اجرای دستور G0، اسپیندل می‌تواند روشن یا خاموش باشد.

از دستور G0 برای نزدیک کردن ابزار به کار استفاده کنید اما هیچگاه با این روش حرکت، بر قطعه‌کار مماس نشوید.

ب– کد G1

حرکت خطی با سرعت پیشروی مشخص (میان‌یابی خطی یا Linear Interpolation):

برای حرکت ابزار توأم با براده‌برداری و با سرعت پیشروی معین از کد G01 استفاده می‌شود.

شکل کلی دستور

N... G1 X... Y... Z... F...

توضیح پارامترها

F: سرعت پیشروی ابزار روی مسیر نهایی.

در مورد مختصات نقطه پایان، کلیه موارد، مشابه دستور G0 است.

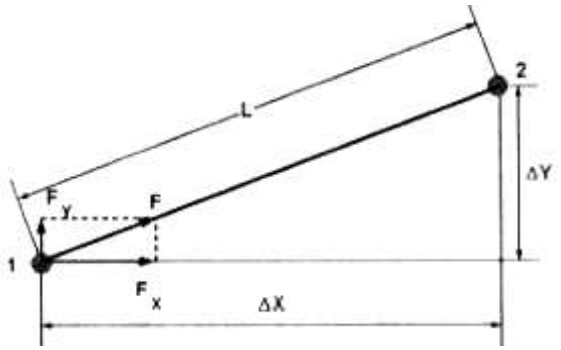
دستور G1 همیشه به صورت میان‌یابی خطی اجرا می‌شود یعنی همهٔ محورها همزمان به نقطه پایانی خود خواهند رسید.

دستور F– تعیین سرعت پیشروی (Feed Rate)

این دستورکمکی، پایدار است و تا هنگام تعریف یک سرعت جدید معتبر می‌ماند. مقدار عددی این دستور، نشان دهندهٔ میزان پیشروی ابزار روی مسیر تعریف شده، خواهد بود.

واحد این سرعت معمولاً در ماشین‌های فرز CNC، بر حسب میلیمتر بر دقیقه (mm/min) و در ماشین‌های تراش CNC، برحسب میلیمتر بر دور (mm/r) یا میلیمتر بر دقیقه است (دستورهای G95 / G94).

با توجه به سرعت پیشروی تعریف شده و میزان جابجایی هریک ازمحورها، سرعت هر محور توسط CNC محاسبه خواهد شد (شکل زیر).



✓ **نکته**

درماشین‌های فرز CNC سرعت پیشروی از رابطه زیر بدست می آید:

$F = f_z \times Z \times S$

F : سرعت پیشروی با واحد میلیمتر بر دقیقه (mm/min).

f_z : نرخ پیشروی به ازای هرلبه برنده (در هر دور چرخش اسپیندل).

Z : تعداد لبه‌های برنده ابزار.

S : سرعت دوران با واحد دور بر دقیقه (rpm).

۵-۱۲- مختصات مطلق و نسبی

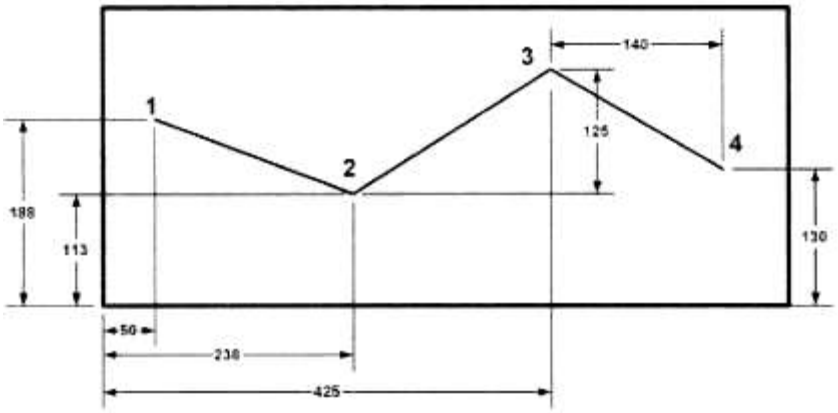
همانطورکه پیشتر گفته شد، مختصات نقاط در یک نقشه می‌تواند به یکی از دو صورت زیر تعریف شود:

❖ **موقعیت نقطه نسبت به یک نقطه ثابت**

این مختصات را مطلق (Absolute) می‌نامند و نقطه ثابت می‌تواند به عنوان نقطه صفر (Zero Point) اختیار گردد.

❖ **موقعیت هرنقطه نسبت به نقطه قبلی**

این مختصات را نسبی، افزایشی یا زنجیره‌ای (Incremental) می‌نامند.



در برنامه‌نویسی CNC می‌توان به دو روش بالا برنامه‌نویسی کرد و انتخاب این دو نوع مختصات با یکی از کدهای G90 و G91 امکان‌پذیر خواهد شد.

❖ **G90 مختصات مطلق**

با فعال کردن این دستورکلیه مختصات نسبت به آخرین نقطه صفر قطعه‌کار محاسبه خواهد شد.

❖ **G91 مختصات نسبی**

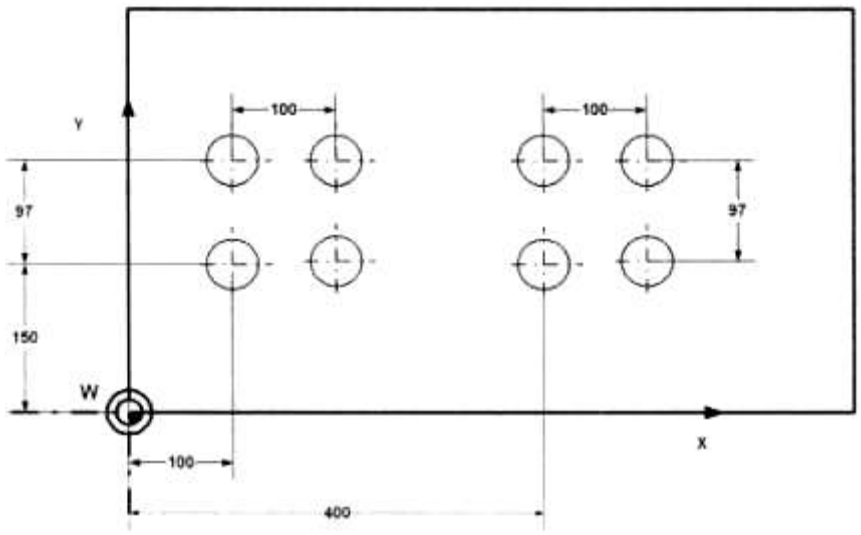
با فعال کردن این دستورها مختصات هر نقطه نسبت به نقطه قبلی (موقعیت فعلی ابزار) محاسبه خواهد شد.

این دو دستور هم‌گروه و پایدارند و دستور پیش‌فرض در اکثر موارد کد G90 است.

✓ **مثال**

این مثال، شما را در درک بهتر مطالب فوق کمک خواهدکرد.

```
N300 G0 X100 Y150 Z2
N305 G1 Z-10 F150
N310 G0 Z2
N315 G91 Y97
N320 G1 Z-12
N325 G0 Z12
N330 X100
N335 G1 Z–12
N340 G0 Z12
N345 Y–97
N350 G1 Z–12
N355 G0 Z12
N360 G90 X400
N365 G1 Z–10
N370 G0 Z2
N375 G91 Y97
N380 G1 Z–12
N385 G0 Z12
N390 X100
N395 G1 Z–12
N400 G0 Z12
N405 Y-97
N410 G1 Z–12
N415 G0 Z12
```



۵–۱۳– مختصات مطلق و نسبی به صورت ترکیبی

باتوجه به شکل زیر مشخص می‌شود که مختصات نقطه ۱ و ۲ مطلق می‌باشند اما در نقطه ۳ مختصات X مطلق و Y نسبی و در نقطه ۴ مختصات X نسبی و Y مطلق تعریف شده‌است. در اینجا لزوم استفاده از مختصات مطلق و نسبی به صورت ترکیبی مشخص می‌شود. در بعضی از سیستم‌های کنترل این امکان وجود ندارد و باید هر دو مختصات را به صورت مطلق یا نسبی محاسبه کرد.

۵–۱۳–۱– مختصات مطلق و نسبی به صورت ناپایدار (مخصوص سیستم کنترل 810/840D)

سیستم‌های کنترل 810/840D برای حل این مشکل، علاوه بر کدهای G90 وG91 روش دیگری را برای تعریف مختصات مطلق و نسبی پیشنهاد می‌کنند:

الف- مختصات مطلق به طور ناپایدار

X = AC (...) Y = AC (...) Z = AC (...)

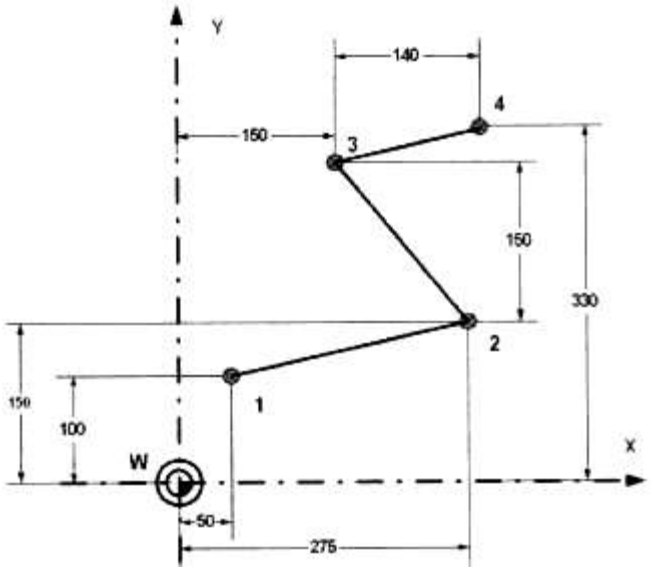
ب- مختصات نسبی به طور ناپایدار

X = IC (...) Y = IC (...) Z = IC (...)

این روش تعریف مختصات از G90 و G91 تأثیر نمی پذیرد و روی مختصات بعدی محورها نیز تأثیری نخواهد داشت. به عبارت دیگر، فقط در همان بلوک مؤثر خواهد بود. امکان استفاده ازکُدهای G90 و G91 با مختصات ناپایدار در یک بلوک وجود دارد.

به این ترتیب مختصات نقاط را در مثال فوق، به شرح زیرخواهیم داشت:

```
N65 G1 G90 X50 Y100
N70 X275 Y150
N75 X150 Y=IC(150)
N80 X=IC(140) Y330
```



۵-۱۳-۲- مختصات مطلق و نسبی در سیستم های کنترل دیگر

درسیستم های کنترل Philips و Fanuc مختصات مطلق و نسبی به صورت زیر تعریف می‌شوند:

- مختصات مطلق با آدرس‌های X، Y و Z
- مختصات نسبی با آدرس‌های U، V و W

به این ترتیب، مثال فوق در این سیستم‌های کنترل به شرح زیر برنامه‌نویسی خواهد شد:

```
N65 G1 X50 Y100
N70 X275 Y150
N75 X150 V150
N80 U140 Y330
```

☺ در چه مواردی از مختصات مطلق و در چه مواردی از مختصات نسبی استفاده کنیم؟

الف- در موارد زیر حتماً از مختصات مطلق استفاده کنید:

- اولین موقعیت در برنامه.
- اولین موقعیت پس از هر تعویض ابزار.
- اولین موقعیت پس از هر تغییر نقطه صفر.

ب- در سایر موارد بر اساس مختصات داده شده در نقشه عمل کنید؛ یعنی اگر مختصات در نقشه نسبت به یک نقطه معین داده شده‌است آن نقطه را به عنوان نقطه صفر انتخاب کنید و سپس با فعال کردن کد G90 مختصات مطلق را به کار ببرید.

ج- اگر مختصات نقاط نسبت به نقطه قبل داده شده باشد کد G91 را فعال کنید و مختصات نسبی را به کار ببرید.

✓ **نکته**

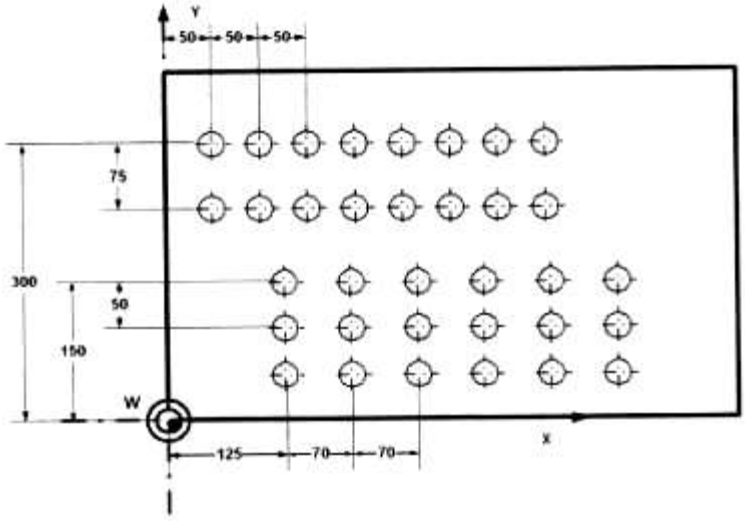
اگر از مختصات نسبی استفاده کرده باشید در صورت وجود خطا در مختصات هر نقطه، این خطا به نقاط بعدی نیز منتقل خواهد شد.

د- هنگامی که نقاط متوالی باید دارای فاصله ثابتی نسبت به یکدیگر باشند از مختصات نسبی استفاده کنید.

✓ **مثال**

این مثال شما را در درک بهتر مطالب فوق کمک خواهد کرد (شکل زیر).

```
N80 G0 G90 X50 Y300
N81 . . .
N82 . . .
:
:
N90 G0 G91 X50
N91 . . .
N92 . . .
:
:
N100 G0 G91 X50
:
:
N300 G0 G90 X125 Y150
N301 . . .
N302 . . .
N310 G0 G91 X70
N311. . .
```



✓ **نکته**

در طی یک مسیر، اگر محور یا محورهایی جابجایی نداشته باشند نیازی به ذکر آدرس آن محورها نیست. در نمونه فوق، در بلوک N90، روی محور Y جابجایی وجود نداشته است.

۵-۱۴- تعیین وضعیت و سرعت اسپیندل

قبل از اینکه ابزار برشی با قطعه‌کار درگیر شود باید وضعیت اسپیندل مشخص شده باشد. وضعیت اسپیندل از طریق تعدادی از دستورهای متفرقه تعیین خواهد شد.

۵-۱۴-۱- دستورهای متفرقه برای روشن / خاموش کردن اسپیندل

برای این منظور از M کدهای زیر استفاده می‌شود:

M03: اسپیندل روشن و جهت چرخش موافق گردش عقربه‌های ساعت (CW).

M04: اسپیندل روشن و جهت چرخش مخالف گردش عقربه‌های ساعت (CCW).

M05: اسپیندل خاموش.

از آنجا که موافق / مخالف بودن با گردش عقربه های ساعت یک امر نسبی است و به جهت دید ناظر بستگی دارد همیشه باید نکته زیر را مد نظر قرارداد:

✓ **نکته**

برای تعیین جهت دوران اسپیندل، از دید ناظری که پشت اسپیندل قرار گرفته است به آن نگاه می‌کنیم.

به این ترتیب یک قلاویز راستگرد در هر نوع ماشینی در مسیر رفت خود با کد M03 و در مسیر برگشت با کد M04 دوران خواهدکرد.

۵-۱۴-۲- تعیین سرعت دوران اسپیندل

همراه با دستورهای فوق باید سرعت دوران اسپیندل مشخص گردد. سرعت اسپیندل با آدرس S که یک دستورکمکی و پایدار است، تعریف می‌شود. واحد سرعت اسپیندل در ماشین‌های فرز CNC به صورت دور بر دقیقه (rpm) تعریف می‌شود. به عنوان نمونه:

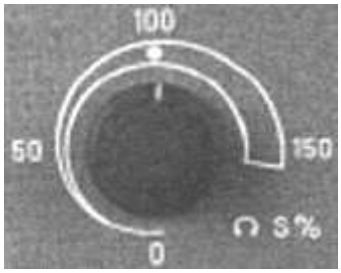
N270 S1250 M3

با اجرای خط فوق، اسپیندل ماشین فرز با سرعت 1250 rpm و موافق گردش عقربه‌های ساعت دوران خواهدکرد.

✓ **نکته**

با استفاده از پتانسیومتر کنترل سرعت اسپیندل (Spindle Override) می‌توان سرعت دوران اسپیندل را تغییر داد. بدین وسیله امکان تصحیح سرعت تعریف شده در برنامه برای اجرای بعدی فراهم خواهد شد (شکل زیر).

در بعضی از عملیات ماشینکاری (مانند قلاویزکاری «Tapping» و پیچ‌تراشی) پتانسیومتر ذکر شده روی مقدار ٪۱۰۰ قفل خواهد شد.



سرعت دوران اسپیندل برای ابزارهای دورانی (مانند فرزها، مته ابرقوو قلاویز) پس ازتعیین سرعت برش V_c از فرمول زیربدست می آید:

$$S = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

S: سرعت دوران اسپیندل با واحد دور بر دقیقه (rpm)

V_c: سرعت برشی ابزار با واحد متر بر دقیقه (m/min).

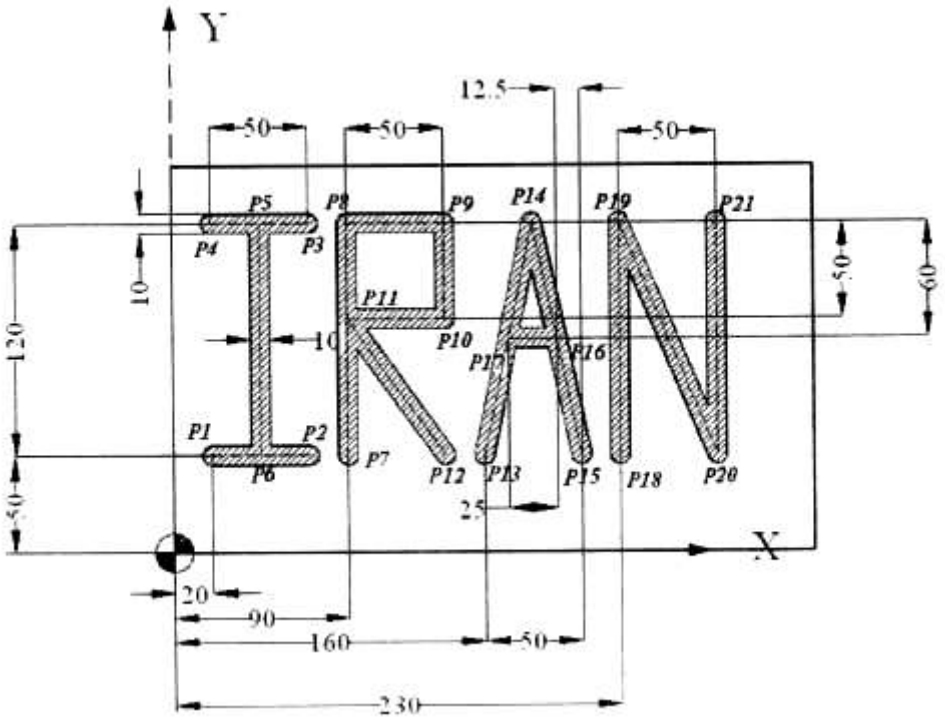
D: قطر ابزار با واحد میلی‌متر (mm).

✓ مثال

برای ایجاد یک شیار به عرض ۱۰ mm و عمق ۶ mm روی قطعه‌کاری از جنس آلومینیوم مطابق شکل زیر برنامه‌نویسی کنید. ابزار مورد نظر، یک فرز انگشتی دولبه، به قطر ۱۰ mm، با سرعت برشی ۷۵ mm/min و سرعت پیشروی 0.1 mm/rev به ازای هر لبه است.

MY1STPGM.MPF

```
N5 G17 G71 G90 G54
N10 G0 Z200
N15 T7 D1
N20 M6
N25 S2220 M3
N30 G0 X20 Y50
N35 Z3
N40 G1 Z–6 F200 M8
N45 G91 X50 F444
N50 G0 G90 Z3
N52 G91 Y120
N60 G1 Z–9 F200
N65 X–50 F444
N70 G0 Z9
N75 X25
N80 G1 Z–9
N85 Y–120
N90 G0 G90 Z3
N95 X90
N100 G1 Z–6 F200
N105 G91 Y120 F200
N110 X50
N115 Y–50
N120 X–50
N125 X50 Y–70
N130 G0 G90 Z3
N135 X160
N140 G1 Z–6 F200
N145 G91 X25 Y120
N150 X25 Y–120
N155 G0 Z9
N160 X–12.5 Y60
N165 G1 Z–9 F200
N170 X–25 F444
N175 G0 G90 Z3
N180 X230 Y50
N185 G1 Z–6 F200
N190 G91 Y120
N195 X50 Y–120
N200 Y120
N205 G0 G90 Z200
```



```
N210 X–50 Y–50
N215 M30
```

توضیح بلوک های برنامه

انتخاب صفر قطعه‌کار: برای آسانی برنامه‌نویسی با توجه به اندازه‌های نقشه، صفر قطعه‌کار، مماس بر روی سطح فوقانی آن و در گوشه سمت چپ پایین انتخاب می‌شود.

N5: مشخص کردن صفحه کاری با کد G17 (صفحه XY).

مشخص کردن سیستم اندازه‌گیری با کد G71 (متریک).

مشخص کردن سیستم مختصات مطلق (G90).

N10: انتقال اسپیندل به نقطه‌ای مناسب برای تعویض ابزار.

✓ **نکته**

اگرماشین CNC دارای سیستم ATC (تعویض ابزار اتوماتیک) باشد، نیازی به این حرکت نیست. در ماشین‌هایی که تعویض ابزار به صورت دستی انجام می‌شود این نقطه باید با توجه به ساختار ماشین تعیین شود، به نحوی که اپراتور در تعویض ابزار با مشکل و مانعی روبرو نگردد.

N15 و N20: دستورهای تعویض ابزار و فعال کردن اطلاعات هندسی ابزار Tool Offset

N25: تعیین سرعت دورانی اسپیندل ($S = 75 \times 1000 / (3.14 \times 10) = 2220$).

N30: انتقال ابزار به نقطه شروع کار (نقطه ۱، اما با حفظ فاصله مناسب نسبت به قطعه‌کار روی محور Z) با حداکثر سرعت

N33: نزدیک شدن به قطعه‌کار فقط در راستای محور Z (فاصله ۳ میلی‌متری، نسبت به سطح فوقانی قطعه‌کار درصورت صاف بودن و دقت قطعه خام می تواند کمتر شود.

N40: نفوذ به عمق ۶ میلی‌متری با سرعت پیشروی 200 mm/min

✓ **نکته**

در صورت لزوم می توان سیستم خنک کاری (Coolant) را به صورت زیر فعال کرد:

M08: پمپ پاشش مایع خنک کاری روشن

M09: پمپ پاشش مایع خنک کاری خاموش

N45: حرکت ابزار به نقطه۲ با مختصات نسبی و سرعت پیشروی 444 mm/min (محاسبه: $F = 2220 \times 0.1 \times 1.2 = 444$)

N50: خروج ابزار از کار با حداکثر سرعت تا فاصله ۳ میلی‌متری نسبت سطح قطعه‌کار

N55: حرکت به نقطه 3

N60: نفوذ به عمق ۶ میلی‌متری از سطع قطعه‌کار

N65: حرکت به نقطه ۴ با سرعت پیشروی 444 mm/min

N70: خروج ابزار از قطعه‌کار

N75: حرکت به نقطه ۵

N80: نفوذ ابزار

N85: حرکت به نقطه ۶

N90: خروج ابزار

N95: انتقال به نقطه ۷

N100: نفوذ ابزار

N105 تا **N125**: حرکت روی مسیر از نقاط ۸ تا ۱۲

N123 تا **N150**: حرکت ابزار و عبور از نقاط ۱۳ و۱۴ و ۱۵

N160 تا **N170**: حرکت ابزار روی نقاط ۱۶ تا ۱۷

N 180 تا **N200**: حرکت ابزار روی نقاط ۱۸ تا ۲۱

N205: خروج ابزار از قطعه‌کار و دور شدن تا فاصله ۲۰۰ میلی‌متری از سطح قطعه‌کار

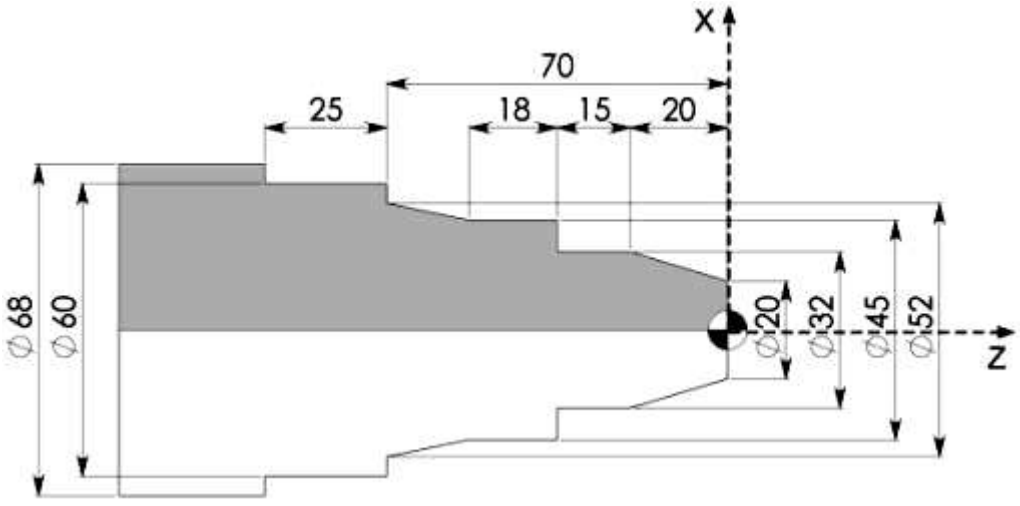
N210: انتقال ابزار به نقطه مناسبی جهت تعویض قطعه‌کار

N125: پایان برنامه

با اجرای دستور M30 برنامه خاتمه یافته تلقی می شود و اجرا به خط اول برنامه بر می گردد. سیستم کنترل، منتظر صدور فرمان شروع برنامه (یا زدن شستی NC Start) می‌ماند. با دستور M30 کلیه فرمانهای پایدار لغو می شوند و دستورهای پیش‌فرض فعال خواهندشد (به عنوان مثال، اسپیندل و پمپ سیستم خنک کاری خاموش می شوند).

✓ مثال

برنامه تراشکاری قطعه ای را مطابق نقشه زیر بنویسید. عملیات در مرحله پرداخت (Finishing)، سرعت برش ابزار $V_C = 300m/\min$ و سرعت پیشروی آن $F = 0.2mm/r$ است.




```
LATHEPGMl.MPF
N5 G18 G71 G90 G55
N10 G0 X150 Z200
N15 T5 Dl
N20 LIMS=3500
N25 G96 S300 F0.2 M4
N30 G0 X20 Z2
N35 Gl Z0 M8
N40 X32 Z-20
N45 G91 Z-15
N50 G90 X45
N55 G91 Z-18
N60 G90 X52 Z-70
N65 X60
N70 G91 Z-25
N75 G90 X68
N80 G0 X150 Z200
N85 M30
```

توضیح بلوک های برنامه

N5: تعریف صفحه کاری XZ (G18)، سیستم اندازه‌گیری میلیمتری (G71)، سیستم مختصاتی مطلق (G90) و نقطه صفر قطعه‌کار (یکی از کدهای G54 تا G57).

N10: انتقال ابزارگیر به نقطه مناسبی برای تعویض ابزار

✓ **نکته**

با توجه به اینکه هنگام چرخش برجک (Turret)، احتمال درگیر شدن ابزار با قطعه‌کار، سه‌نظام، مرغک و ... وجود دارد، باید با دقت تمام نقطه‌ای برای تعویض ابزار انتخاب شود که ضمن اجتناب از حرکت‌های اضافی، احتمال برخورد وجود نداشته باشد.

N15: تعویض ابزار (چرخش برجک) و قرار گرفتن ابزار ایستگاه ۵ در موقعیت کار (T5)، ضمناً اطلاعات ابزار نیز از فایل Tool Offset خوانده و فعال خواهندشد (D1).

N20: تعیین حداکثر سرعت دوران اسپیندل به میزان 3500rpm (LIMS=3500)

N25: تعیین کد سرعت برشی ثابت (G96)، تعریف سرعت برش (S300) و پیشروی (F0.2) و تعیین جهت دوران اسپیندل مخالف گردش عقربه‌های ساعت (M4)

N30: انتقال ابزار به نقطه‌ای با فاصله 2mm (روی محور z) نسبت به نقطه ۱ برای شروع عملیات.

N35: حرکت به نقطه ۱، سیستم خنک‌کاری روشن

N40 تا N75: حرکت ابزار روی مسیرهای خطی از نقطه ۱ تا ۱۰

N80: دور کردن ابزار از قطعه‌کار برای تعویض ابزار یا تعویض قطعه‌کار

N85: پایان برنامه (M30)

۵–۱۵– صفحات کاری (Working Planes)

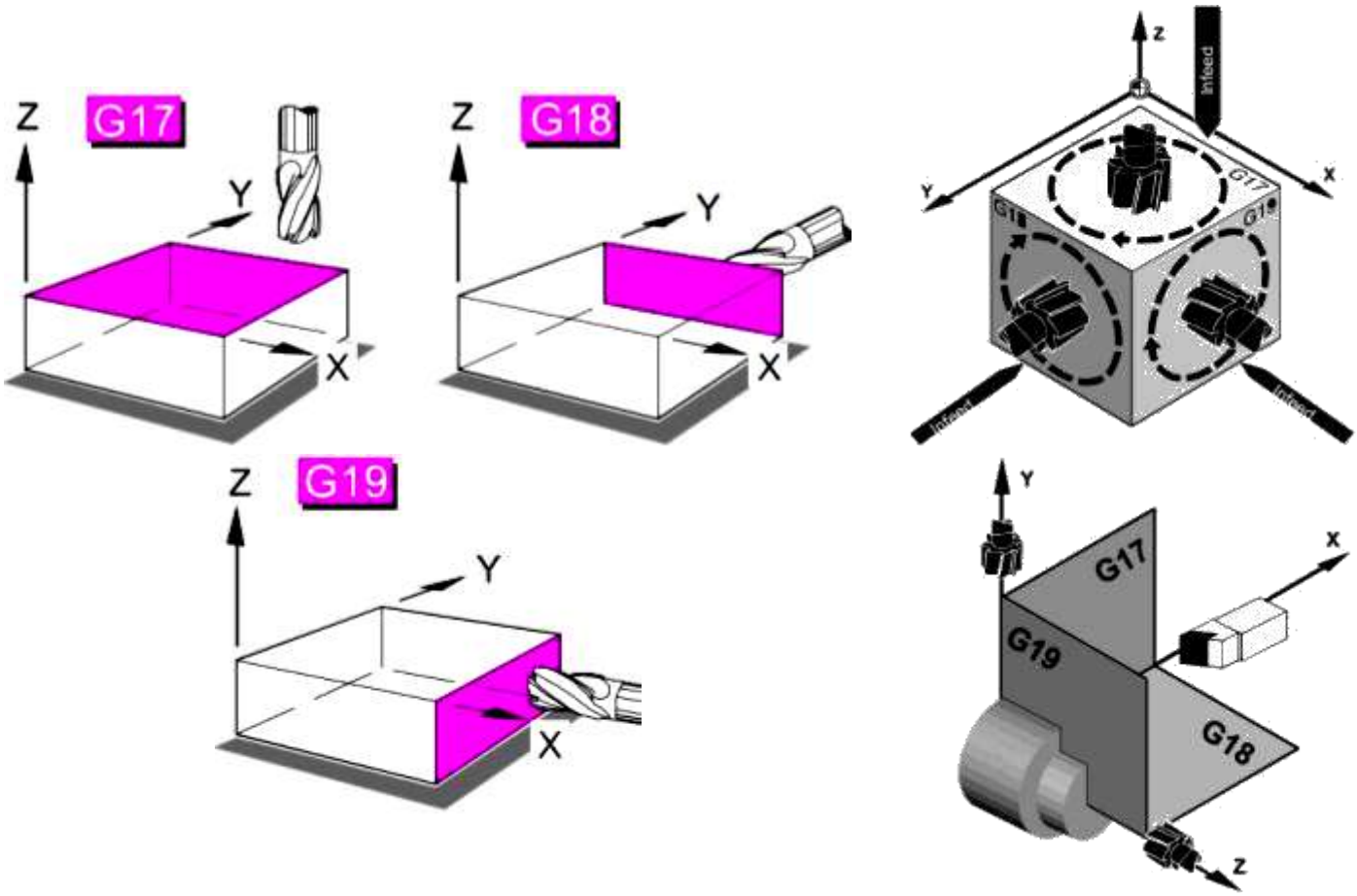
محورهای مختصات، دو به دو تشکیل صفحاتی را می دهند که به نام صفحات کاری خوانده می‌شوند. بعضی از G کدها (مانند دستورهای G42/G41/G3/G2، مختصات قطبی و...) از نظر محاسبات ریاضی فقط در یکی از این صفحات اجرا می‌شوند، پس باید در ابتدای برنامه و یا در هر نقطه‌ای که لازم است، صفحه کاری مورد نظر را تعریف کنیم. کدهای اختصاص یافته به تعریف صفحات کاری:

G17: صفحه کاری XY محور نفوذ ابزار Z

G18: صفحه کاری ZX محور نفوذ ابزار Y

G19: صفحه کاری YZ محور نفوذ ابزار X

این G کدها هم‌گروه و پایدارند. معمولاً G17 در ماشینهای فرز و سنگ تخت (شکل زیر، چپ و راست بالا) و معمولاً G18 در ماشینهای تراش و سنگ محور (شکل زیر، راست پایین) پیش‌فرض می باشند.



در صورت تغییر صفحه کاری در اواسط برنامه، می‌توان با دستورهای فوق، صفحه جدید تعریف کرد (به عنوان مثال: چرخش هد در ماشینهای فرز یونیورسال).

✓ **نکته**

دستورهای G17/G18/G19، علاوه بر تعیین صفحه کاری، محور نفوذ ابزار Infeed را نیز مطابق جدول فوق تعریف می‌کنند. به این ترتیب، در یک ماشین فرز یونیورسال:

- **در حالت اسپیندل عمودی**: صفحه کاری XY و محور نفوذ ابزار Z است، پس باید کد G17 تعریف شود.
- **در حالت اسپیندل افقی**: صفحه کاری ZX و محور نفوذ ابزار Y است، پس باید کد G18 تعریف شود.
- در صورتی که هد 90 درجه حول محور Y چرخیده باشد، صفحه کاری YZ و محور نفوذ X خواهد بود (در این حالت باید G19 فعال شود).

✓ **نکته**

در یک فرز عمودی یا افقی بدون تغییر وضعیت هد، دستورهای G17 تا G19 به صورت زیر عمل خواهند کرد:

دستور	صفحه کاری	محور نفوذ
G17	XY	Z
G18	ZX	Y
G19	YZ	X

در صورتی که صفحه کاری مورد نظر و محور نفوذ ابزار با هیچ کدام از موارد فوق مطابقت نداشته باشد. باید به دستورهای خاصی که در هر سیستم کنترل تعریف می‌شود، مراجعه کرد.

✓ **مثال**

می‌خواهیم در یک فرز عمودی در حالی که محور نفوذ ابزار Z است، صفحه کاری ZX باشد.

حل: دستورهای خاص چند سیستم کنترل برای مورد فوق عبارتند از:

الف– کنترل‌کننده‌های SINUMREIK سری 800A زیمنس: دستور G16 برای این منظور پیش بینی شده‌است. در این دستور می‌توان صفحه کاری و محور نفوذ ابزار را به صورت آزاد تعریف کرد.

در این مثال، دستور G16 به صورت زیر تعریف می‌شود:

```
G16 ZX Z
```

ب– کنترل‌کننده‌های SINUMREIK سری 810/840D زیمنس: بایستی با استفاده از دستور ROT دستگاه مختصات را بچرخانیم:

```
ROT X90
```

۵–۱۶– تعیین سیستم اندازه‌گیری محورهای مختصات (خطی)

در ماشینهای CNC دو نوع سیستم اندازه‌گیری برای محورهای خطی پیش بینی شه است:

- سیستم متریک G71
- سیستم انگلیسی (اینچی) G70

شرکت سازنده ماشین ابزار با توجه به این موضوع که خریدار ماشین، معمولاً از چه سیستم اندازه‌گیری استفاده می‌کند، یکی از دو حالت فوق را به عنوان پیش‌فرض انتخاب می‌کند (در ایران اکثراً سیستم متریک). حال اگر در نقشه یک قطعه بخشی از اندازه ها با سیستم پیش‌فرض متفاوت باشند، می‌توان با تعریف کد مناسب، سیستم اندازه‌گیری را تغییر داد. به عنوان نمونه

```
N5 G17 G71
:
:
N300 G70
N305 G1 Z-2
:
:
N330 G71
```

کلیه اندازه های داده شده در فاصله N300 تا N330 بر حسب اینچ (in) خواهند بود. در ادامه، اندازه ها بر حسب میلی‌متر (mm) تعریف می‌شوند.

✓ **نکته**

تغییر سیستم اندازه‌گیری در اواسط برنامه در سیستم کنترل Sinumerik پذیرفته می‌شود، اما در بعضی از کنترل‌کننده‌ها باید سیستم اندازه‌گیری منتخب از ابتدا تا انتهای برنامه حفظ شود.

در سیستم کنترل SINUMERIK یا تغییر سیستم اندازه‌گیری در برنامه (به کمک کدهای G70 یا G71) موارد زیر همچنان بر حسب سیستم اندازه‌گیری پیش‌فرض محاسبه خواهندشد.

- سرعت برش (با آدرس S)
- سرعت پیشروی (با آدرس F)
- ابعاد ابزار
- مختصات نقاط صفر قطعه‌کار
- نمایش موقعیت محورها روی صفحه نمایش

۵-۱۷- مختصات قطبی (Polar Coordinates)

تعریف مختصات قطبی در سیستمهای مختلف کنترل، متفاوت است. در این بخش، روش تعریف مختصات قطبی در سیستم کنترل Sinumerik 810/840D توضیح داده می‌شود.

برای تعریف مختصات یک نقطه به صورت قطبی به اطلاعات زیر نیاز داریم:

- مختصات نقطه‌ای به نام قطب Pole
- شعاع قطبی
- زاویه قطبی

✓ **نکته**

مختصات قطبی فقط در یکی از سه صفحه کاری اصلی قابل اجرا است.

۵-۱۷-۱-روش های تعریف مختصات قطب

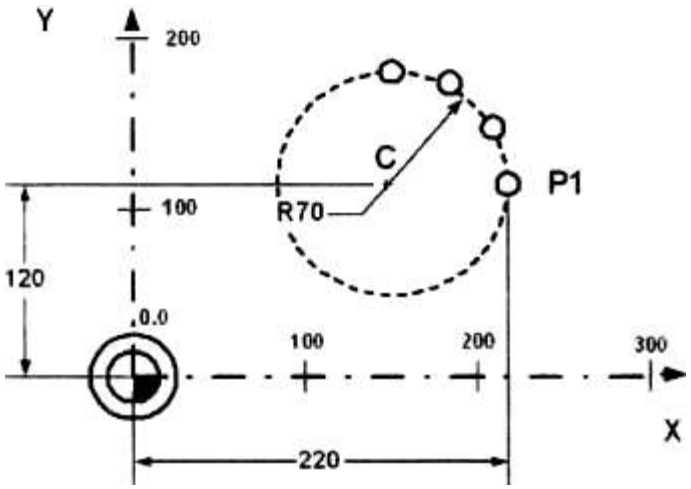
سه روش برای تعریف قطب وجود دارد.

❖ **کد G110**، مختصات قطب را نسبت به آخرین موقعیت ابزار تعریف می‌کند. این مختصات همیشه نسبی هستند و دستورهای G90 یا G91 تأثیری بر آن نخواهند داشت.

N… G110 X… Y… Z …

✓ مثال

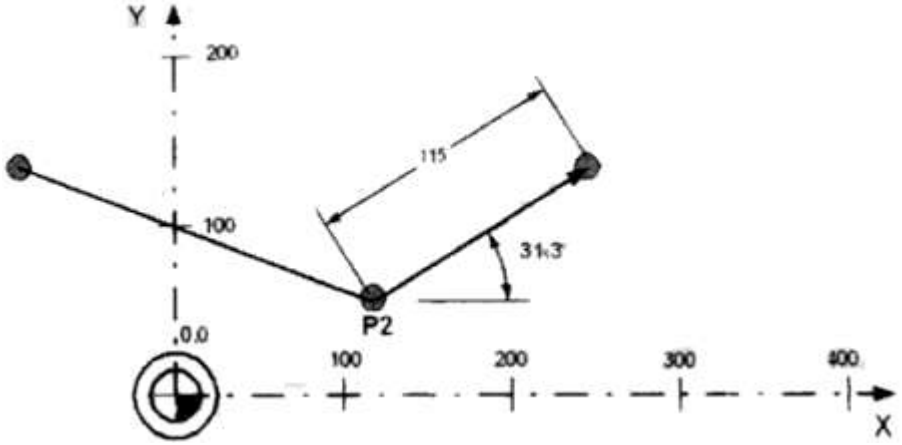
ابزار در نقطه Pl قرار گرفته است و می‌خواهیم نقطه C را به عنوان قطب معرفی می‌کنیم (شکل زیر)




```
:
:
N300 G0 G90 X220 Y120
N305 G110 X-70 Y0
```

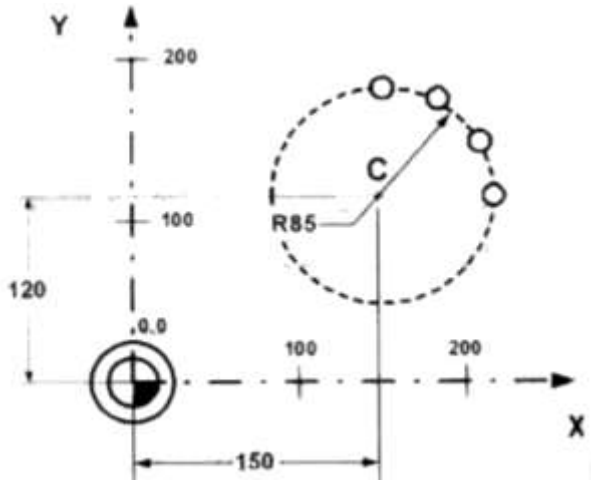
✓ مثال

ابزار در نقطه P2 قرار گرفته و قرار است این نقطه به عنوان قطب تعریف شود (شکل زیر).




```
:
:
N160 Gl X120 Y50
N165 G110 X0 Y0
```

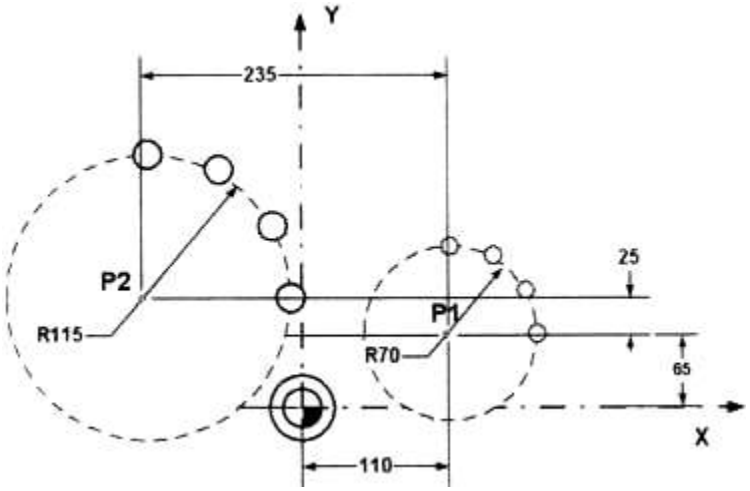
❖ **کد G111**، مختصات قطب را نسبت به آخرین نقطه صفر قطعه‌کار تعریف می‌کند. این مختصات همیشه مطلق است. به عنوان نمونه:




```
:
:
N305 G111 X150 Y120
```

❖ **کد G112**، مختصات قطب جدید را نسبت به آخرین قطب تعریف خواهد کرد (شکل زیر). این مختصات همیشه نسبی است.

```
:
N680 Glll X110 Y65
:
G740 Gll2 X-235 Y25
```



✓ **نکته**

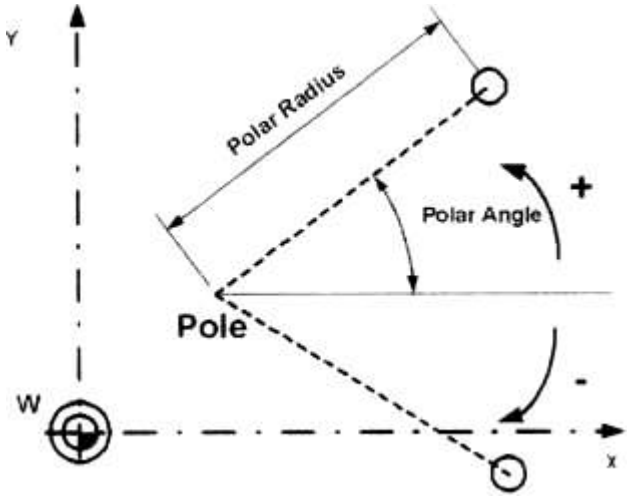
برای تعریف هر قطب جدید حتماً باید یکی از سه کد G110/G111/G112 تعریف شود. مختصات نقطه قطب باید در همان بلوک آورده شود. به عبارت دیگر این G کدها ناپایدارند اما اثر آنها باقی می ماند.

در بلوک حاوی کدهای G110/G111/G112 هیچ دستور دیگری آورده نشود.

قطب پیش‌فرض، آخرین نقطه صفر تعریف شده خواهد بود.

۵-۱۷-۱- شعاع قطبی (Polar Radius)

طبق تعریف، فاصله نقطه مورد نظر تا نقطه قطب، شعاع قطبی نامیده می‌شود و به صورت RP= نشان داده می‌شود. شعاع قطبی بدون علامت تعریف می‌شود .



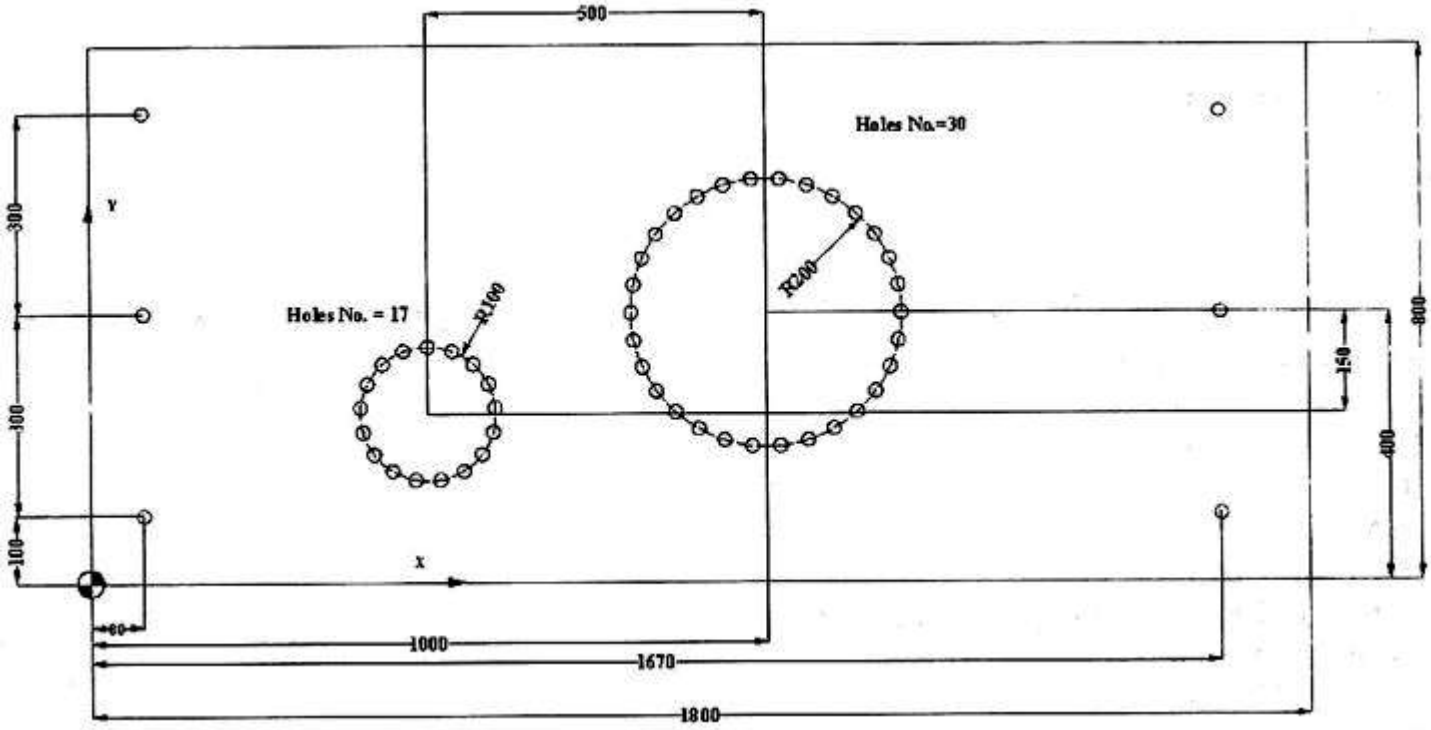
۵-۱۷-۲- زاویه قطبی (Polar Angle)

طبق تعریف، زاویه خط واصل بین نقطه مورد نظر تا قطب با جهت مثبت محور اول صفحه کاری، زاویه قطبی نامیده می‌شود و با AP= نشان داده می‌شود. زاویهٔ AP می‌تواند مثبت یا منفی باشد. چنانچه جهت اندازه‌گیری زاویه، مخالف گردش عقربه‌های ساعت (مثبت مثلثاتی) باشد، علامت AP مثبت و در صورتی که جهت اندازه‌گیری موافق گردش عقربه‌ها باشد، علامت آن منفی خواهد بود. محدوده مقادیر مجاز برای تعریف AP برابر $\pm 360^{o}$ است.

✓ مثال

می‌خواهیم سوراخ‌هایی را مطابق نقشه شکل زیر، روی یک قطعه آلومینیومی ایجاد کنیم:

الف- قطعه باید در یک ماشین فرز دروازه‌ای سوراخکاری (Drilling) شود. عمق سوراخ‌ها مساوی است. سرعت دورانی 800rpm و سرعت پیشروی 150mm/min محاسبه شده‌است.



POLCORDTSTl_MPF

```
N5 G17 G71 G90 G54
N10 T10 Dl
N15 M6          (تعویض ابزار)
N17 S800 M3
N20 G0 X80 Y100
G25 MILLPGM     (فراخوانی زیر برنامه سوراخکاری)
N30 G91 Y300
N35 MILLPGM
N40 G91 Y300
N45 MILLPGM
N50 G90 X1670
N55 MILLPGM
N60 G91 Y-300
N65 MILLPGM
N75 G91 Y-300
N75 MILLPGM
N80 G90 G0 X1200 Y400
N85 G110 X-200 Y0
N90 MILLPGM
N95 POINTS1 P=29        (تعداد دفعات اجرای زیربرنامه سوراخکاری بر روی دایره بزرگتر: ۲۹)
N100 G112 X-500 Y-150
N105 G0 AP=90 RP=100
```

```
N110 MILLPGM
N115 POINTS2 P=16          (تعداد دفعات اجرای زیربرنامه سوراخکاری بر روی دایره کوچکتر: ۱۶)
N120 G0 G90 Z200
N125 G53 X0 Y0
N130 M30
```

MILLPGM-SPF (زیر برنامه سوراخکاری)

```
N10 Gl G90 Z-10 F800 M8
N15 G0 Z2
N20 M17          (پایان زیر برنامه)
```

POINTS1-SPF (زیربرنامه سوراخکاری بر روی دایره بزرگتر)

```
N5 G0 G90 RP=200 AP=IC(12)
N10 MILLPGM
N15 M17
```

POINTS2-SPF (زیربرنامه سوراخکاری بر روی دایره کوچکتر)

```
N5 G0 G90 RP=100 AP=IC(-21.176)          (استفاده از مختصات نسبی موقت)
N10 MILLPGM
N15 M17
```

ب- قطعه را یک ورق آلومینیومی در نظر بگیرید که قرار است با ماشین پانچ CNC، سوراخکاری شود.

POLCORDTST2-MPF

```
N5 G17 G71 G90 G54
N10 T10 Dl
N15 M6
N20 G0 X80 Y100
N25 PUNCHPGM          (فراخوانی زیر برنامه پانچ‌کاری)
N30 G91 Y300
N35 PUNCHPGM
N40 G91 Y300
N45 PUNCHPGM
N50 G90 X1760
N55 PUNCHPGM
N60 G91 Y-300
N65 PUNCHPGM
N70 G91 Y-300
N75 PUNCHPGM
N80 G90 G0 X1200 Y400
N85 G110 X-200 Y0
N90 PUNCHPGM
N95 POINTS1 P=29
N100 G112 X-500 Y-150
N105 G0 AP=90 RP=100
N110 PUNCHPGM
N115 POINTS2 P=16
```

N120 G0 G90 Z200
N125 G53 X0 Y0
N130 M30

PUNCHPGM-SPF (زیر برنامه پانچ‌کاری)

N5 M25 (پایین رفتن سنبه پانچ‌کاری)

N10 M20 (بالا رفتن سنبه پانچ‌کاری)

N15 M17

POINTS1-SPF
N5 G0 G90 RP=200 AP= IC(12)
N10 PUNCHPGM
N15 M17

POINTS2-SPF
N5 G0 G90 RP=100 AP=IC(-21.176)
N10 PUNCHPGM
N15 M17

۳-۱۱ میان‌یابی دایره‌ای (Circular Interpolation)

با اجرای دستورهای میان‌یابی دایره‌ای، ابزار روی کمانی از یک دایرهٔ مشخص حرکت خواهد کرد.

مشابه دستورهای G0 و G1 (میان‌یابی خطی)، ابزار باید در نقطه شروع قرار گیرد و سپس مشخصات نقطه پایان مسیر داده شود. از آنجا که از دو نقطه معین بی‌نهایت دایره می‌گذرد، باید دقیقاً مشخص شود که چه دایره‌ای مورد نظر است. روشهای مختلفی برای تعریف دایره وجود دارد. در اینجا ۷ روش (بر اساس کنترل‌کننده SINUMERIK 840D) تشریح می‌شود که دو روش اول در اکثر سیستمهای کنترل نیز اجرا می‌شوند:

میان‌یابی دایره‌ای، فقط به صورت دوبعدی (در یکی از سه صفحه کاری اصلی) قابل اجراست (جز دستور CIP). در صورتی که بخواهید این حرکت را در یک صفحه مورب اجرا کنید، ابتدا باید دستگاه مختصات را طوری بچرخانید که دایره مورد نظر در یکی از سه صفحه اصلی کاری قرار گیرد (به بخش ۳-۱۳ موضوع چارچوبها - Frames- و صفحات کاری مراجعه کنید).

۳-۱۱-۱ روش اول: دستورهای G2 یا G3 + مختصات مرکز کمان + مختصات نقطه پایان کمان

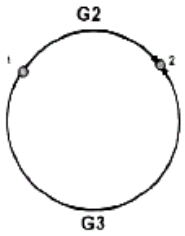
این روش کاملترین راه برای تعریف یک مسیر دایره‌ای است و تقریباً در اکثر سیستمهای کنترل قابل اجراست.

شکل کلی دستور

N... G2/G3 X... Y... [Z...] I... J... [K...]

توضیح پارامترها

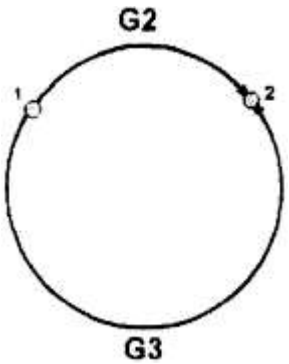
ابتدا فرض کنیم که دایره‌ای با مختصات مرکز کاملاً مشخص داریم. اگر بخواهیم روی محیط این دایره از نقطه 1 به نقطه 2 برویم، دو راه وجود خواهد داشت (شکل ۳-۳۱):

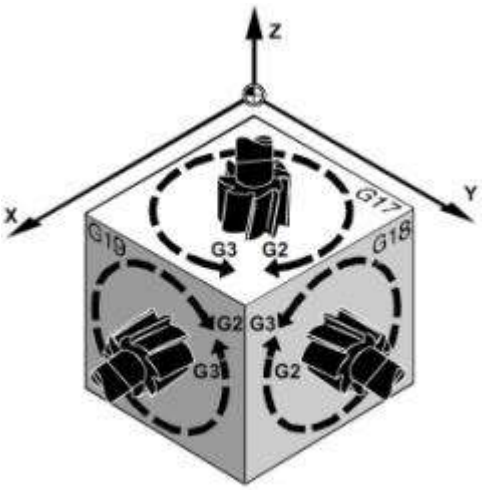


شکل ۳-۳۱

- **حرکت روی محیط دایره موافق گردش عقربه‌های ساعت:** این حرکت، با دستور G02 برنامه‌ریزی می‌شود.
- **حرکت روی محیط دایره مخالف گردش عقربه‌های ساعت:** این حرکت، با دستور G03 برنامه‌ریزی خواهد شد.

در اینجا نیز جهت موافق یا مخالف گردش عقربه‌های ساعت، بستگی به دید ناظر خواهد داشت. با توجه به این موضوع که این حرکت، تنها در یکی از سه صفحه کاری اصلی اجرا می‌شود، پس باید از دید ناظری که در جهت مثبت محور سوم (محور عمود بر صفحه کاری) قرار گرفته است، بررسی کرد.





شکل ۳-۳۲

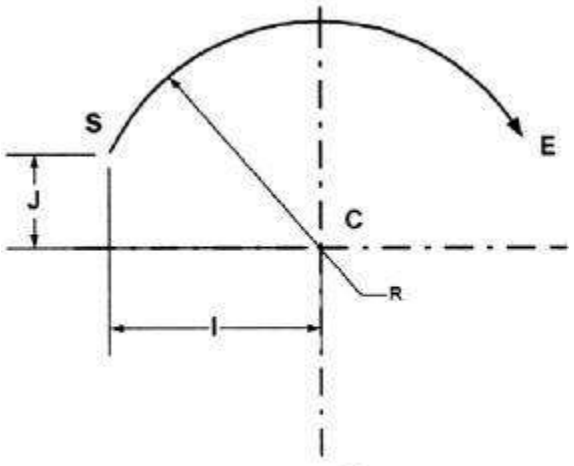
به این ترتیب می‌توان دستورهای فوق را در صفحات کاری اصلی به صورت زیر تعریف کرد (شکل ۳۲-۳):

X، Y و Z- مختصات نقطه پایان مسیر

از سه مختصات فوق، حداکثر باید دو مختصات ذکر شوند. این دو مختصات با توجه به صفحه کاری تعیین می‌شوند. مثلاً باید در صفحه G17 مختصات X و Y، در صفحه G18 مختصات X و Y و در صفحه G19 مختصات Y و Z را تعریف کنیم.

مختصات نقطه پایان مسیر می‌تواند مطلق (با کد G90) یا نسبی (با کد G91) باشد.

در صورتی که مختصات نقطه پایان مسیر روی یک محور، با مختصات نقطه شروع آن یکسان باشد نیازی به تعریف مختصات آن محور نیست.



شکل ۳-۳۳

I، J و K- مختصات مرکز کمان

مختصات مرکز کمان، نسبت به نقطه شروع کمان با آدرسهای I، J و K (به‌ترتیب روی محورهای X،Y و Z) تعریف خواهد شد (شکل ۳۳-۳).

این مختصات، همیشه نسبی می‌باشند و G91/G90 تأثیری در آنها نخواهند داشت. برای تعیین مقادیر I، J و K و علامت آنها می‌توان یکی از دو روش زیر را انتخاب کرد:

- یک دستگاه مختصات (فرضی) را در نظر بگیرید که محورهای آن I و J (به موازات X و Y) می‌باشند و مبدأ مختصات آن بر نقطه شروع کمان منطبق است. حال، مختصات مرکز کمان را در این دستگاه به دست آورید.
- فرض کنید که می‌خواهید از نقطه شروع کمان به مرکز بروید. فاصله‌ای که باید روی محور X طی شود، همان مقدار I و فاصله روی محور Y، همان مقدار J خواهد بود. چنانچه برای رسیدن به مرکز کمان (از نقطه شروع) موافق محوری حرکت کنیم علامت پارامتر، مثبت و در غیر این صورت، منفی خواهد بود.

نکته

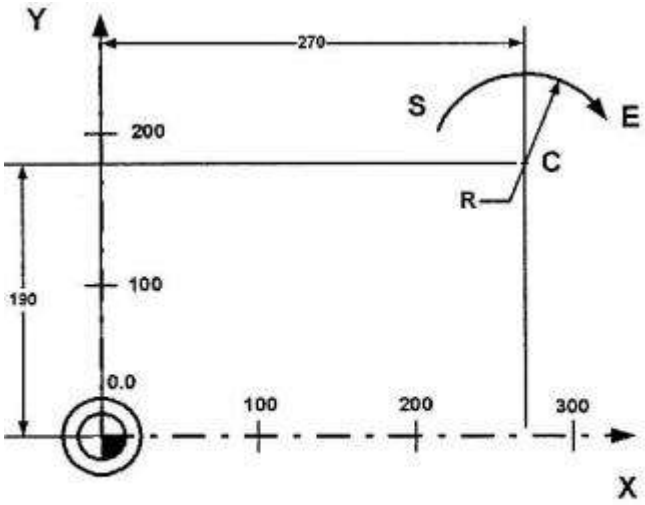
هر کدام از پارامترهای I، J و K را که برابر صفر باشند می‌توان حذف کرد.
این پارامترها ناپایدارند و در بلوکهای بعدی باید تکرار شوند.

تعریف مختصات مرکز کمان به صورت مطلق

I=AC(...)
J=AC(...)
K=AC(...)

با این روش، می‌توان مختصات مرکز کمان را نسبت به نقطه صفر قطعه‌کار تعریف کرد. به عنوان نمونه:

I=AC(270) J=AC(190)



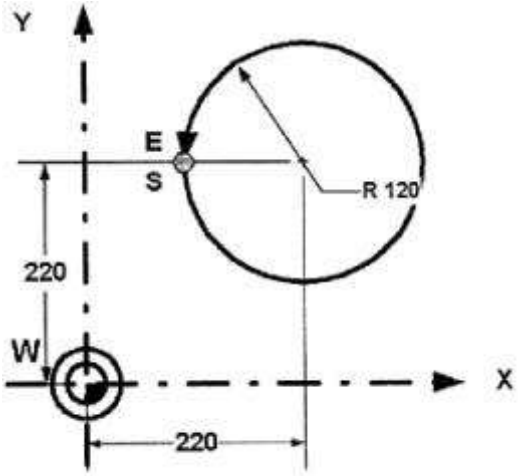
شکل ۳-۳۴

تعریف مختصات مرکز به صورت ترکیبی از مطلق و نسبی نیز امکان‌پذیر است (شکل ۳-۳۴).

به عنوان نمونه:

I=AC(270) J-15

دایره کامل (۳۶۰°): برای حرکت ابزار، روی یک دایره کامل فقط باید از روش مختصات مرکز استفاده کرد. از آنجا که مختصات نقطه شروع و پایان مسیر یکی است، نیازی به آوردن مختصات نقطه پایان نیست (شکل ۳-۳۵).



شکل ۳-۳۵

N145 G1 G90 X220 Y220
N150 G3 I120

مسیر فوق، یک دایره کامل به شعاع ۱۲۰ میلی‌متر خواهد بود.

روش مختصات مرکز، روش دقیقی است که بسیار بسته عمل می‌کند، به این معنی که اگر مختصات نقطه شروع، پایان و مرکز کمان، متعلق به یک دایره نباشند دستور اجرا نخواهد شد و یک پیغام خطا (Error Message) صادر خواهد گردید.

N140 G1 X200 Y200
N145 G2 G91 X50 Y50 I50

برنامه فوق، صحیح است و اجرا خواهد شد.

N140 G1 X200 Y200
N145 G2 G91 X50 Y51 I50

از آنجا که سه نقطه تعریف‌شده در این مثال متعلق به یک دایره نمی‌باشند، پیغام خطای "Wrong circle end point" صادر خواهد شد. برای آگاهی از پیغامهای خطا به فصل ۸ مراجعه کنید.

میزان خطای مجاز: سیستم کنترل، درستی مختصات نقاط شروع، پایان و مرکز را با مقایسه شعاع در نقطه شروع (R_1) و در نقطه (R_2) پایان انجام می‌دهد.

اگر این دو شعاع، دقیقاً مساوی باشند برنامه اجرا خواهد شد، اما اگر دارای اختلافی باشند؛ این اختلاف با تولرانس معینی که در اطلاعات ماشین (Machine Data) تعریف شده است (که معمولاً بین ۵ تا ۱۰ میکرون است)، مقایسه خواهد گردید (برای آگاهی از اطلاعات ماشین به فصل ۸ مراجعه کنید).

در صورتی که اختلاف کمتر از تولرانس مذکور باشد، مرکز جدیدی توسط CNC برای کمان به دست می‌آید که فاصله نقطه شروع و پایان تا آن مرکز مساوی خواهد بود و برنامه بدون اعلام خطا اجرا خواهد شد.

در صورتی که اختلاف بیشتر از تولرانس فوق است، پیغام خطای شماره 14040 صادر می‌شود و اجرای برنامه متوقف خواهد شد.

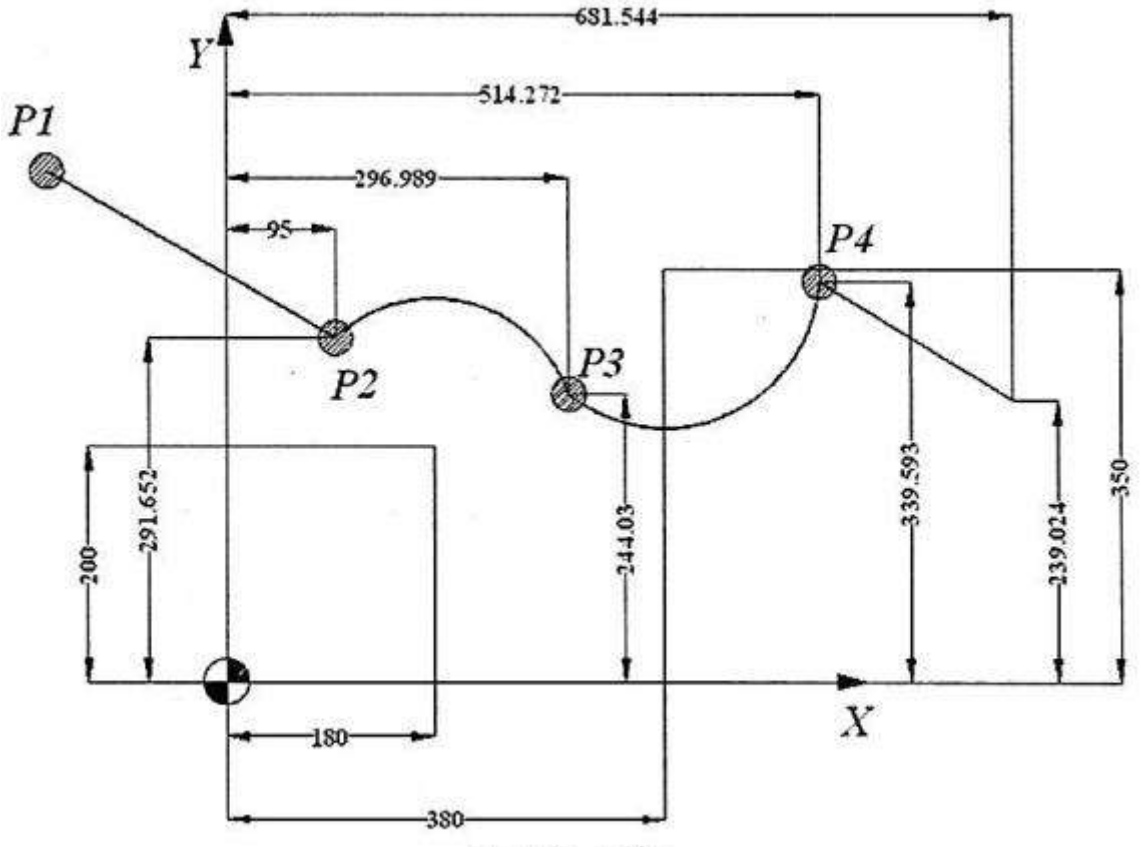
اگر مختصات نقاط از برنامه‌های AutoCAD استخراج شده یا در نرم‌افزار CAD/CAM نوشته شده باشد، معمولاً مقادیر تا سه رقم اعشار گرد می‌شوند و در نتیجه نسبت به مختصات واقعی اختلاف خواهند داشت. در چنین صورتی اگر تولرانس اشاره‌شده، خیلی بسته انتخاب شده باشد برنامه مرتباً با اعلام خطا متوقف خواهد شد. برای حل این مشکل پیشنهاد می‌شود برنامه با روش تعریف شعاع (به جای تعریف مختصات مرکز) اصلاح شود.

.....

نمونه‌هایی از تعریف مختصات مرکز

◄ شکل ۳۶-۳:

```
N180 G1 G90 X95 Y291.652
N185 G2 X296.989 Y244.03 I85 J-91.652
N190 G3 X514.272 Y339.593 I82.949 J105.97
N200 G1 X681.544 Y239.024
```



شکل ۳۶-۳

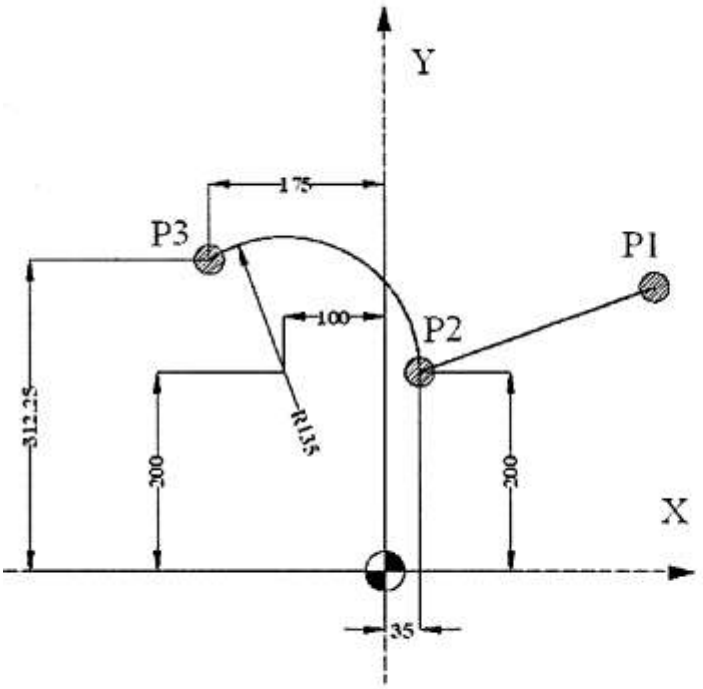
نکته

می‌توان بلوکهای N185 و N190 را به صورت زیر نیز نوشت:

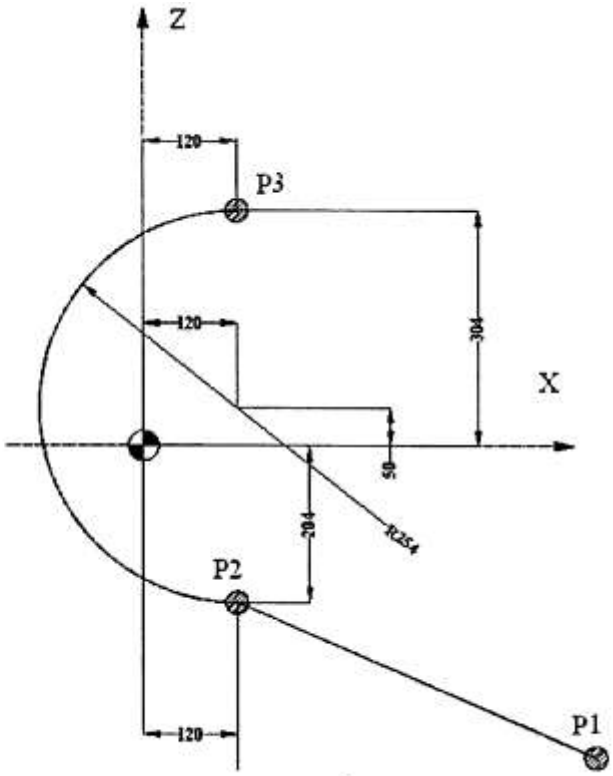
N185 G2 X... Y... I=AC(180) J=AC(200)
N190 G3 X... Y... I=AC(380) J=AC(350)

◄ شکل ۳-۳۷:

N365 G1 G90 X35 Y200
N370 G3 X-175 Y312.25 I-135 J0



شکل ۳-۳۷



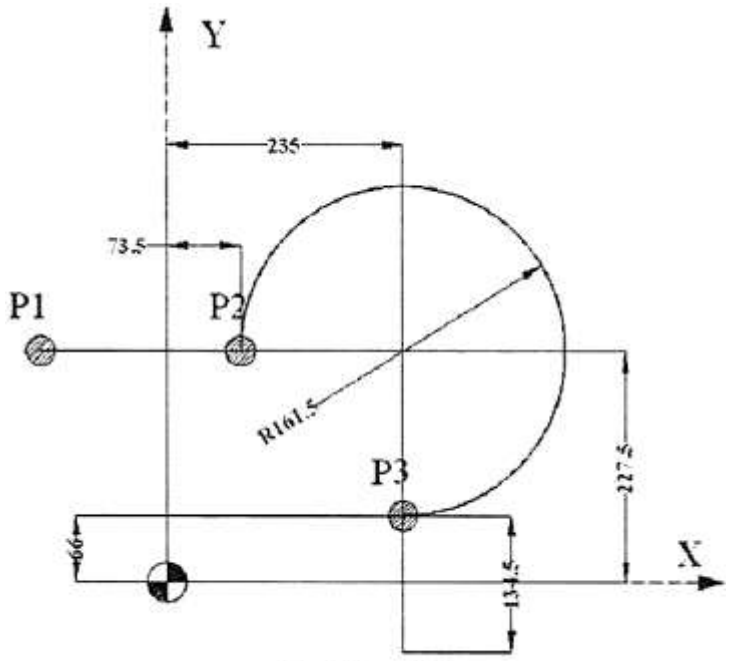
شکل ۳-۳۸

◄ شکل ۳-۳۸:

N5 G18
⋮
N70 G1 G90 X120 Z-204
N75 G3 Z304 I0 K254

یادآوری

در صفحه کاری G18 (با توجه به جهت محورهای Z و X) جهت دید صحیح، از پشت صفحه است.



شکل ۳۹-۳

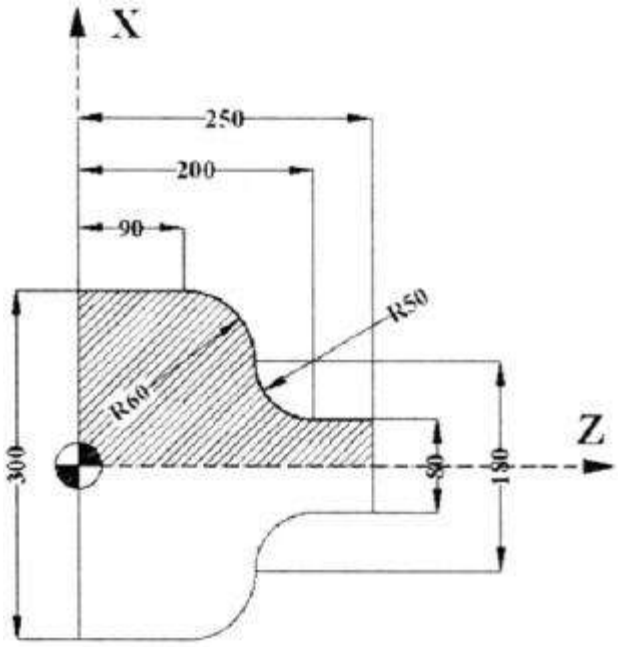
◀ شکل ۳۹-۳:

```
N700 G1 G90 X73.5 Y227.5
N705 G2 X235 Y66 I161.5
N710 G1 G91 Y-134.5
```

نکته

در مواردی که کمان، $\frac{۱}{۴}$، $\frac{۱}{۲}$ یا $\frac{۳}{۴}$ دایره است، استفاده از مختصات نسبی برای تعریف پایان مسیر بهتر خواهد بود:

```
N705 G2 G91 X161.5 Y-161.5 I161.5
```



شکل ۴۰-۳

◀ شکل ۴۰-۳:

```
N60 G1 G90 X80 Z250
N65 G1 Z200
N70 G2 X180 Z=IC(-50) I50 K0
N75 G3 X300 Z90 I0 K-60
N80 G1 Z0
```

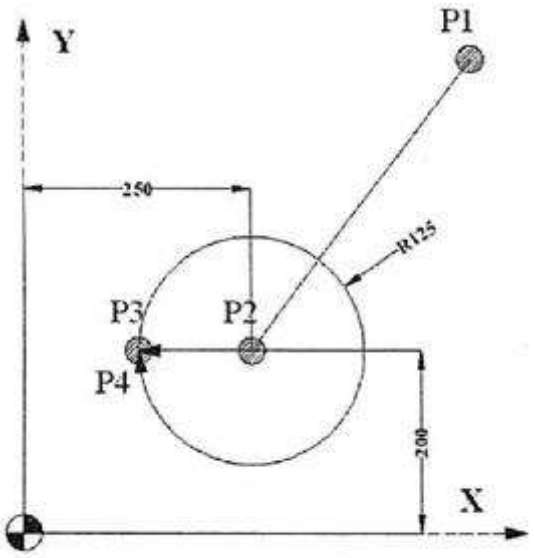
یادآوری

در تمام موارد فوق I0، J0 و K0 را می‌توان حذف کرد.

مختصات محور X در تراش (در حالت مطلق) به صورت قطری تعریف می‌شود.

◄ شکل ۴۱-۳:

N685 G0 G90 X250 Y200
N690 G1 Z-10
N695 G91 X-125
N700 G2 I125



شکل ۴۱-۳

یادآوری مختصات نقطه پایان و نقطه شروع یکسان می‌باشند (دایره کامل)، در نتیجه هر دو مختصات حذف شده‌اند.

۳-۱۱-۲ روش دوم: تعریف شعاع کمان + مختصات نقطه پایان کمان

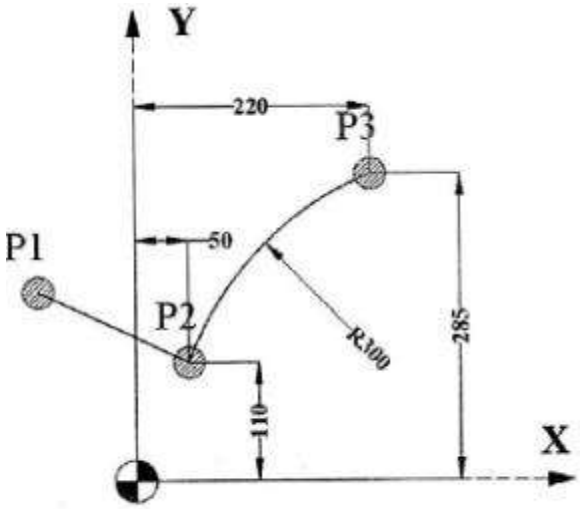
شکل کلی دستور

N... G2/G3 X... Y... [Z...] CR=...

کمانهای دایره، در اکثر موارد با استفاده از شعاع تعریف می‌شوند. در این حالت می‌توان از شعاع CR=... و مختصات پایان کمان استفاده کرد. به عنوان نمونه (شکل ۴۲-۳):

N660 G1 G90 X50 Y110
N665 G2 X220 Y285 CR=300

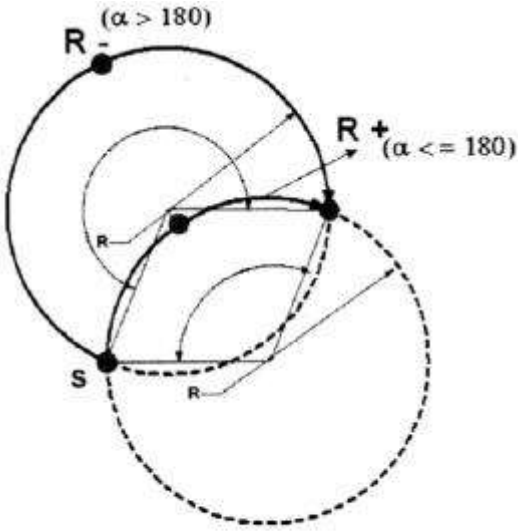
ضوابط تعریف مختصات نقطه پایان، دقیقاً مشابه مواردی است که در روش قبل (مختصات مرکز) توضیح داده شد.



شکل ۴۲-۳

استفاده از شعاع کمان ساده‌تر از روشهای دیگر است، اما باید نکات زیر در نظر گرفته شود:

۱- با تعریف شعاع و مختصات نقطه پایانی دو پاسخ به دست خواهد آمد که از نظر هندسی هر دو صحیح



شکل ۳-۴۳

می‌باشند. از نظر اجرایی، به روش زیر یکی را مشخص می‌کنیم (شکل ۳-۴۳):

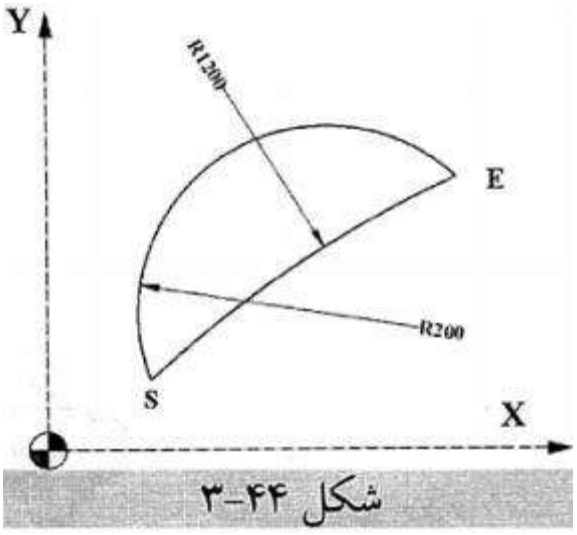
- کمانی که زاویه مرکزی آن کوچکتر از ۱۸۰° باشد، با CR=200 در برنامه تعریف خواهد شد.
- کمانی که زاویه مرکزی آن بزرگتر از ۱۸۰° باشد، با CR=-200 در برنامه تعریف خواهد شد.

نکته

کمانهایی که زاویه مرکزی آنها نزدیک به ۱۸۰° باشند، ممکن است برنامه‌نویس را به اشتباه بیندازند. در این موارد اگر مطمئن نیستید از روش مختصات مرکز استفاده کنید. فاصله بین دو نقطه شروع و پایان، باید کوچکتر یا مساوی قطر دایره باشد. در غیر این صورت، پیغام خطای "Circle radius too small" اعلام می‌شود و اجرای برنامه متوقف خواهد شد.

اگر هنگام نوشتن برنامه، مقدار عددی شعاع را خیلی بزرگتر از مقدار مورد نظر وارد کنیم، از نظر هندسی غلط نیست و برنامه با شعاع بزرگتر اجرا خواهد شد. به عنوان نمونه (شکل ۴۴-۳):

G2 X... Y... CR=200
G2 X... Y... CR=1200



شکل ۳-۴۴

۳-۱۱-۳ روش سوم: دستورهای G2 و G3 + مختصات قطبی نقطه پایان کمان

شکل کلی دستور

N... G2/G3 RP=... AP=...

توضیح پارامترها

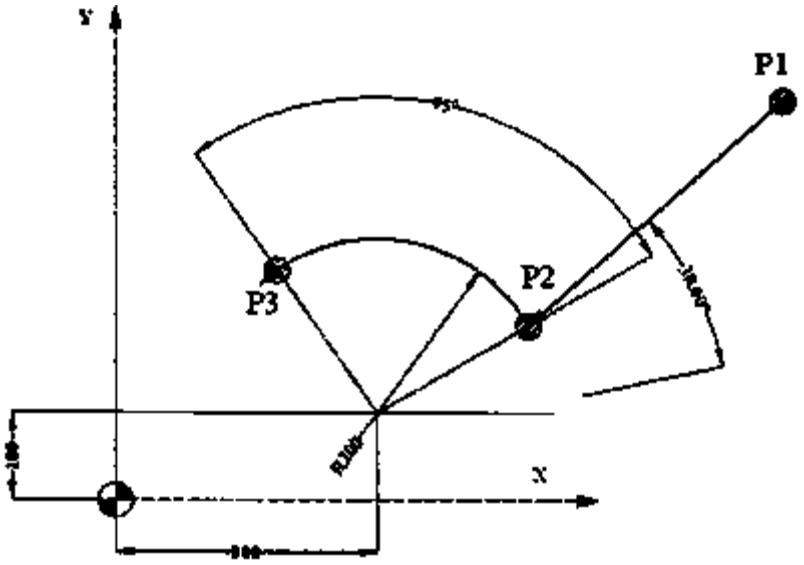
RP=...: شعاع قطبی نقطه پایانی (شعاع کمان)

AP=...: زاویه قطبی

در این روش، باید مختصات قطب قبلاً تعریف شده باشد.

نکته

مختصات قطب، باید منطبق بر مرکز دایره باشد.
شعاع قطبی، دقیقاً باید همان شعاع کمان باشد.
اگر نقطه شروع کمان با مختصات P1



قطبی تعریف شده باشد می‌توان زاویه مرکزی کمان را در قالب زاویه قطبی (البته به صورت نسبی) تعریف کرد. به عنوان نمونه (شکل ۴۵-۳):

```
N420 G111 X300 Y100
N425 G1 RP=200 AP=30
N430 G3 RP=200 AP=IC(95)
```

۳-۱۱-۴ روش چهارم: دستورهای G2 و G3 + مختصات کارتزین نقطه پایان کمان + زاویه مرکزی کمان

شکل کلی دستور

N... G2/G3 X... Y... [Z...] AR=...

توضیح پارامترها

X، Y و Z- مختصات نقطه پایان مسیر

...AR=: زاویه مرکزی کمان با واحد درجه

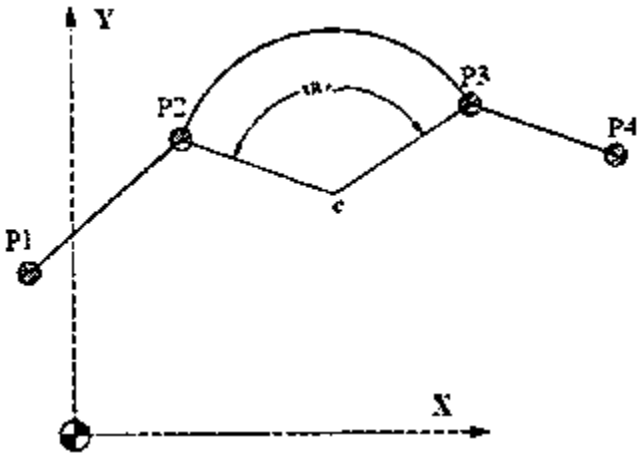
زاویه مرکزی به صورت یک عدد بدون علامت تعریف می‌شود (شکل ۴۶-۳).

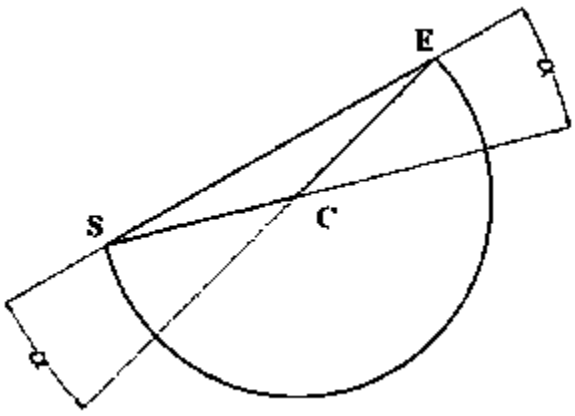
اطلاعات تکمیلی: توضیح چگونگی رسم کمانی با داشتن نقطه شروع، پایان و زاویه مرکزی (شکل ۴۷-۳):

الف- وتر SE را رسم می کنیم.

ب- از نقطه S خطی را رسم می کنیم که با وتر SE زاویه α بسازد.

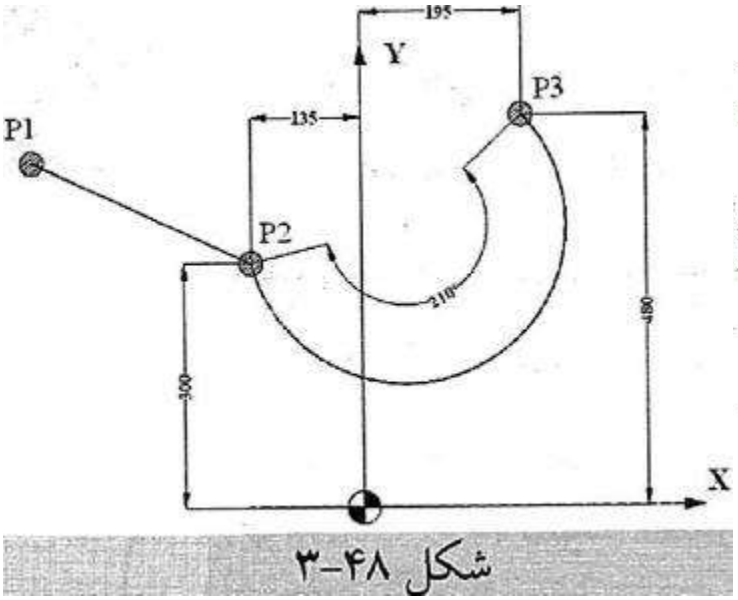
$$\alpha = \frac{180 - AR}{2}$$





ج- از نقطه E نیز خطی رسم می کنیم که با وتر SE زاویه α بسازد.

د- محل تقاطع این دو خط مرکز کمان خواهد بود.



شکل ۴۸-۳

یادآوری

با توجه به کد G2 یا G3 باید مرکز مناسب را به دست آوریم. به عنوان نمونه (شکل ۴۸-۳):

N365 G1 X-135 Y300
N370 G3 X195 Y480 AR=210

۳-۱۱-۵ روش پنجم: دستورهای G2/G3 + مختصات مرکز کمان + زاویه مرکزی

شکل کلی دستور

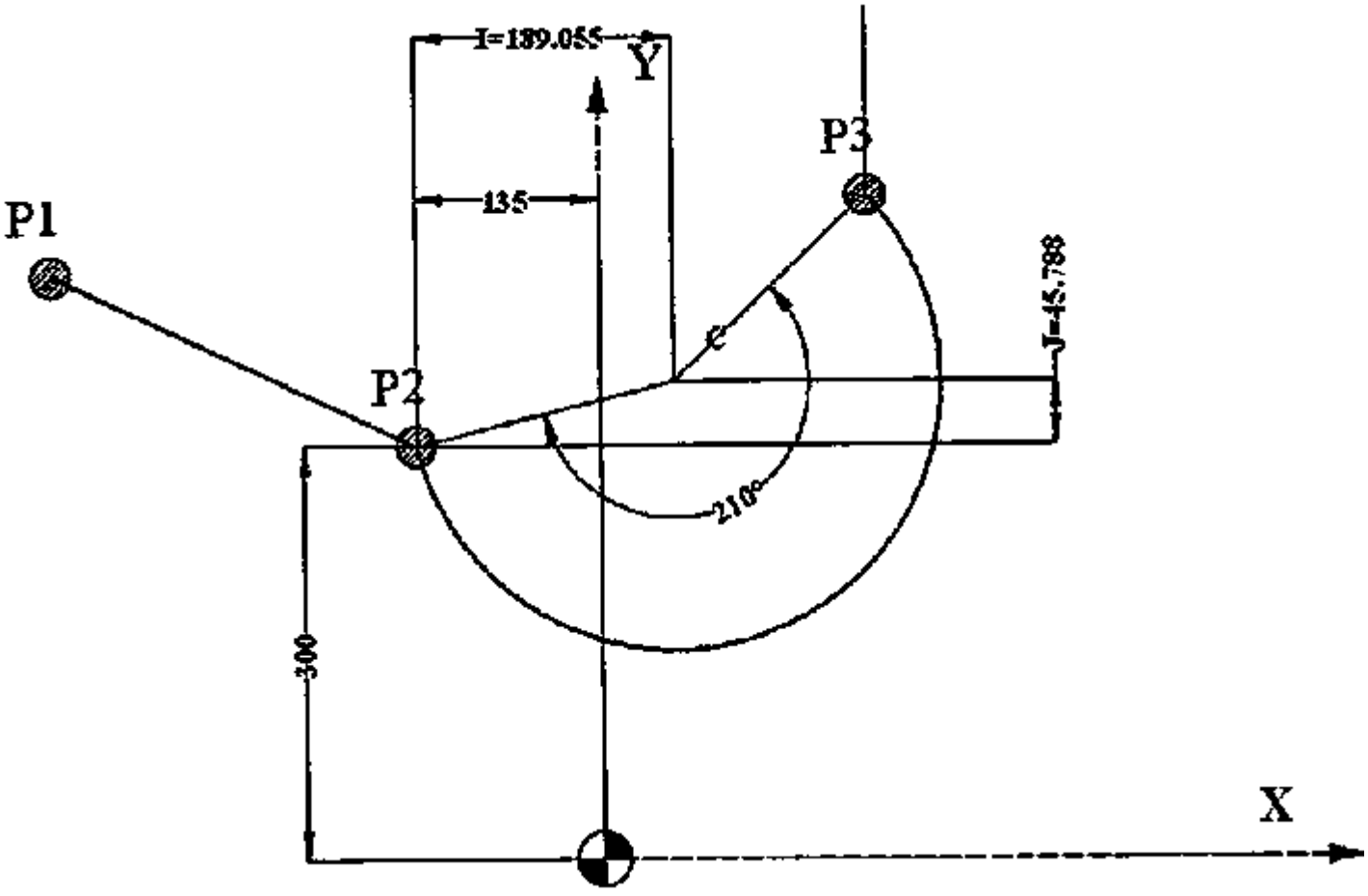
N... G2/G3 I... J... [K...] AR=...

یا

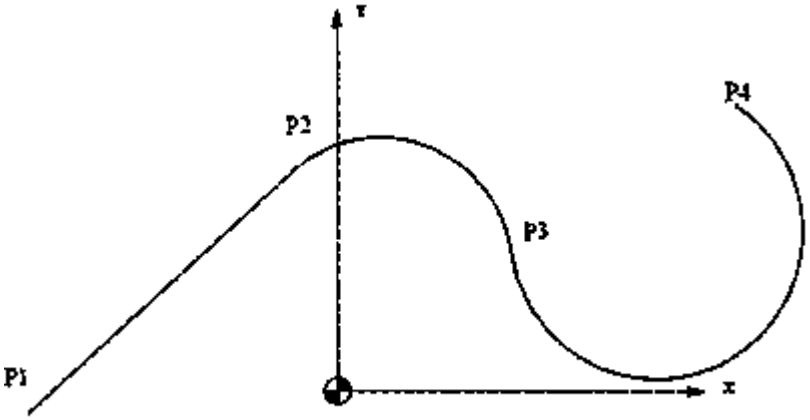
N... G2/G3 I=AC(...) J... AR=...

به عنوان نمونه (شکل ۴۹-۳):

N365 G1 X-135 Y300
N370 G3 I189.055 J45.788 AR=210



۳–۱۱–۶ روش ششم: دستور CT + مختصات کارتزین نقطه پایان کمان



شکل ۳-۵۰

دستور CT برای اجرای کمانهایی به کار می‌رود که بر مسیر قبلی خود مماس باشند. برای اجرای این کمان نیازی به شعاع یا مختصات مرکز نیست (شکل ۳-۵۰).

N... CT X... Y... [Z...]

شکل کلی دستور

توضیح پارامترها

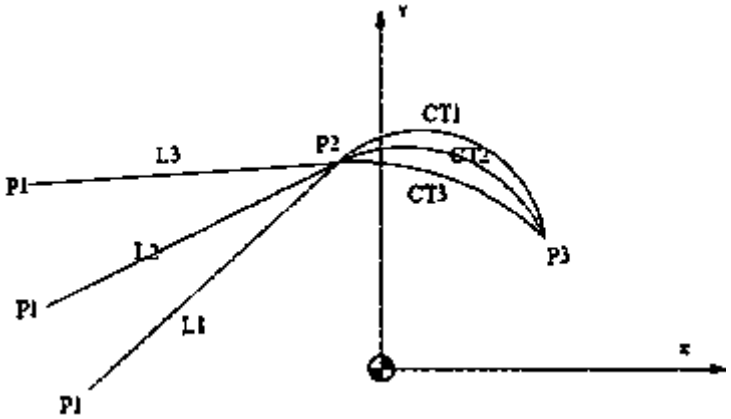
X، Y و Z– مختصات نقطه پایان کمان

این مختصات می‌توانند مطلق یا نسبی باشند.

مسیر قبل از CT می‌تواند خط یا کمان باشد (شکل ۳-۵۰).

در صورت تغییر مسیر قبل از CT، وضعیت کمانی که با CT اجرا شده است نیز

نکته



تغییر خواهد کرد (شکل ۳-۵۱). به منظور کنترل این موضوع در مثال ۳-۱۱، خط N100 مقدار X را به 157.331 تغییر دهید و نتیجه را ملاحظه کنید.

چنانچه وتر SE در امتداد مسیر قبلی (اگر خط باشد) یا مماس بر مسیر قبلی (اگر دایره‌ای باشد) قرار گیرد، یک مسیر خطی اجرا خواهد شد (به عبارت دیگر ، کمانی به شعاع ∞ تعریف شده است).

۳–۱۱–۷ روش هفتم: دستور CIP + مختصات نقطه پایان کمان + مختصات یک نقطه واسطه، روی مسیر

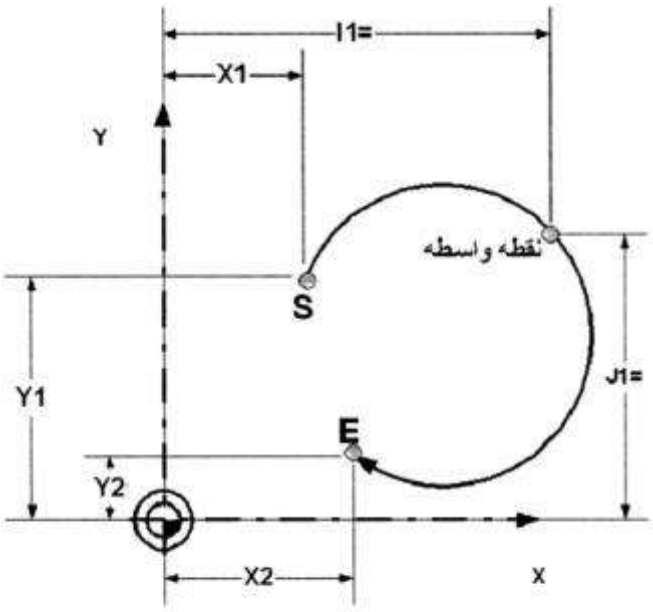
N... CIP X... Y... Z... I1=... J1=... K1=...

شکل کلی دستور

توضیح پارامترها

X، Y و Z– مختصات نقطه پایان کمان

I1، J1 و K1– مختصات نقطه واسطه



شکل ۳-۵۲

مختصات دو نقطه فوق می‌تواند مطلق (نسبت به نقطه صفر) یا نسبی (نسبت به نقطه شروع کمان) باشد. با این روش، می‌توان کمانی از دایره را در فضای سه‌بعدی اجرا کرد و این نوع حرکت محدود به صفحات کاری اصلی نخواهد بود. موقعیت نقطه واسطه، مشخص‌کننده جهت حرکت ابزار (موافق یا مخالف گردش عقربه‌های ساعت) خواهد بود (شکل ۳-۵۲).

برای بازبینی توانایی دستور CIP در مثال ۳-۱۱، خط N90 را به صورت زیر تغییر دهید:

N90 CIP X97.041 Y-61.878 Z-10 I1=186 J1=0 K1=0

سپس، شبیه‌سازی را اجرا کنید تا آن را در حالت سه‌بعدی (Perspective) ببینید. ملاحظه خواهید کرد که کمان از نقطه 10 تا 11 در فضای سه‌بعدی اجرا شده است.

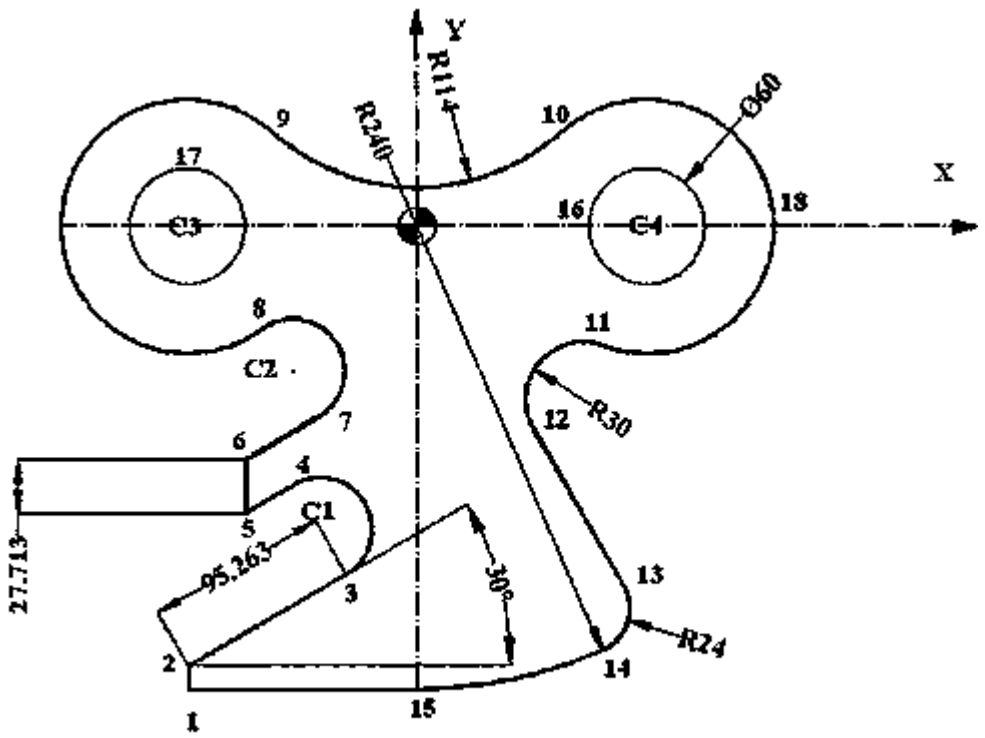
نکته

- دستورهای CIP، CT، G3 و G2 همگی پایدار و متعلق به گروه ۱ می‌باشند.
- اگر مختصات نقطه پایان (جز روشهای زاویه مرکزی و CIP) با صفحه کاری متفاوت باشد، کمان تعریف‌شده در صفحه‌ای اجرا خواهد شد که شامل مختصات نقطه پایان است. به عنوان نمونه:

```
N5 G17
N100 G2 G91 X100 Z100 U100
N105 G3 X200 U100
```

در این مثال، کمان مندرج در بلوک N100، در صفحه ZX و کمان تعریف‌شده در بلوک N105، در صفحه XY (G17) اجرا خواهد شد.

مثال ۳-۱۱: مسیر حرکت ابزار را مطابق نقشه شکل ۳-۵۳ برنامه‌نویسی کنید. عمق نفوذ ابزار 10 mm و مختصات نقاط معلوم به صورت زیر است:



شکل ۳-۵۳

#1 (X-120, Y-240) #2 (X-120, Y-228)
#4 (X-64.5, Y-133.603) #5 (X-90, Y-148.326)
#7 (X-51.557, Y-98.418) #8 (X-81.008, Y-53.25)
#9 (X-76, Y49.194) #10 (X76, Y49.194)
#11 (X97.041, Y-61.876) #12 (X60.624, Y-105.004)
#13 (X107.331, Y-185.903) #14 (X96.163, Y-219.892)
#15 (X-0, Y-240) #16 (X90, Y0)
#17 (X-120, Y30)
C1 (X-51, Y-156.986) C2 (X-65.057, Y-75.035)
C3 (X-120, Y0) C4 (X120, Y0)

```
%_N_CIR_INT_1_MPF
;$ PATH=/_N_MPF_DIR
N5 G17 G71 G90 G54
N10 T7 D1; END MILL DIA. 8 3LIPS
N15 M6
N20 S1500 M3
N25 G0 X-120 Y-240 Z2; POINT#1
N30 G1 Z-10 F200
N35 Y-228; POINT#2
N40 G110 X0 Y0
N45 RP=95.263 AP=30; POINT#3
N50 G3 X-64.5 Y-133.603 I=AC(-51) J=AC(-156.986); POINT#4
N55 G1 X-90 Y-148.326; POINT#5
N60 Y=IC(27.713); POINT#6
N65 X-51.557 Y-98.418; POINT#7
N70 G3 X-81.008 Y-53.251 I=AC(-65.057) J=AC(-75.035); POINT#8
N75 G2 X-76 Y49.194 I=AC(-120) J=AC(0); POINT#9
N80 G3 X76 CR=114; POINT#10
```

```
N85 G2 X97.041 Y-61.878 I=AC(120) J=AC(0); POINT#11
N90 G3 X60.624 Y-105.004 CR=30; POINT#12
N95 G1 X107.331 Y-185.903; POINT#13
N100 G2 X96.163 Y-219.892 CR=24; POINT#14
N105 X0 Y-240 I=AC(0) J=AC(0); POINT#15
N110 G1 X-120; POINT#1
N115 G0 Z2
N120 X90 Y0; POINT#16
N125 G1 Z-10
N130 G2 I30
N135 G0 Z2
N140 X-120 Y30; POINT#17
N145 G1 Z-10
N150 G3 J-30
N155 G0 Z200
N160 G53 X150 Y150
N165 M30
```

مثال ۱۲-۳: حال، برای نقشه مثال ۱۱-۳ با معلومات زیر برنامه‌نویسی کنید:

الف- مختصات نقاط 3#، 2# و 1# مشابه مثال قبل

ب- مختصات نقطه 4# مجهول، شعاع کمان معلوم R27 و زاویه مرکزی 180° (نیم‌دایره)

ج- مختصات نقطه 8# مجهول، شعاع کمان مجهول و زاویه مرکزی 180°

د- نقطه C3 مجهول و شعاع کمان معلوم R66

هـ- کمان 9-10 مماس بر مسیر قبلی و شعاع آن مجهول

و- نقطه C4 مجهول، شعاع کمان 10-11 مجهول و مختصات نقطه (X180, Y0) 18# معلوم

ز- شعاع کمان 13-14 مجهول و کمان مماس بر مسیر قبلی

ح- مختصات مرکز کمان 14-15 مجهول

```
%_N_CIR_INT_2_MPF
;$ PATH=/_N_MPF_DIR
N5 G17 G71 G90 G54
N10 T7 D1; END MILL DIA. 8 3LIPS
N15 M6
N20 S1500 M3
N25 G0 X-120 Y-240 Z2; POINT#1
N30 G1 Z-10 F200
N35 Y-228; POINT#2
N40 G110 X0 Y0
N45 RP=95.263 AP=30; POINT#3
N50 G111 X-51 Y-156.986
N55 G3 RP=27 AP=120; POINT#4
N60 G1 X-90 Y-148.326; POINT#5
N65 Y=IC(27.713); POINT#6
N70 X-51.557 Y-98.418; POINT#7
N75 G3 AR=180 I=AC(-65.057) J=AC(-75.035); POINT#8
N80 G2 X-76 Y49.194 CR=-66; POINT#9
N85 CT X76; POINT#10
N90 CIP X97.041 Y-61.878 Z-10 I1=186 J1=0 K1=0; POINT#11
N95 G3 X60.624 Y-105.004 CR=30; POINT#12
N100 G1 X107.331 Y-185.903; POINT#13
N105 CT X96.163 Y-219.892; POINT#14
N110 G2 X0 Y-240 CR=240; POINT#15
N115 G1 X-120; POINT#1
N120 G0 Z2
N125 X90 Y0; POINT#16
N130 G1 Z-10
N135 G2 I30
N140 G0 Z2
N145 X-120 Y30; POINT #17
N150 G1 Z-10
N155 G3 J-30
N160 G0 Z200
N165 G53 X150 Y150
N170 M30
```

توضیحات لازم را در هر بلوک، بعد از علامت «;» بنویسید. این توضیحات مانند مشخصات ابزار در بلوک N10 توسط CNC خوانده نخواهد شد.