ایسبوک ۲۳ · ۳ آذر ۱۴۰۵

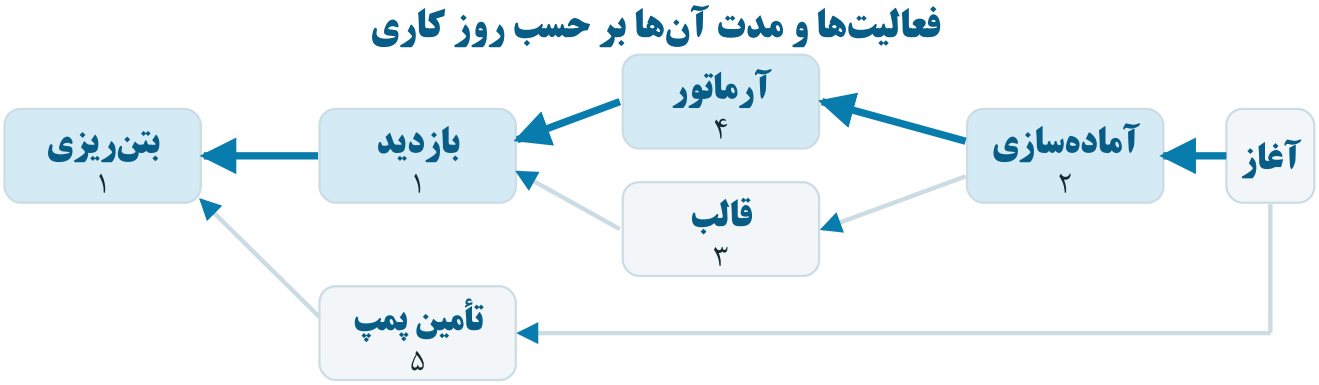
مسیر بحرانی پروژه ساختمانی با هوش مصنوعی

آموزش محاسبه شناوری و کنترل برنامه با ChatGPT و روش دستی

از جدول فعالیت‌ها یک شبکه زمان‌بندی می‌سازیم، زودترین و دیرترین زمان‌ها را حساب می‌کنیم و پاسخ مدل را با عبور دستی از شبکه کنترل می‌کنیم. خروجی، یک تصمیم مستند برای پیگیری کارگاه است.

دکتر امیرحسین فهیمی و دکتر مجید ذکری

اگر قالب‌بندی دو روز طولانی‌تر شود، تاریخ بتن‌ریزی هم عقب می‌افتد؟



شبکه مثال و مسیر کنترل‌کننده پایان بتن‌ریزی در برنامه پایه.

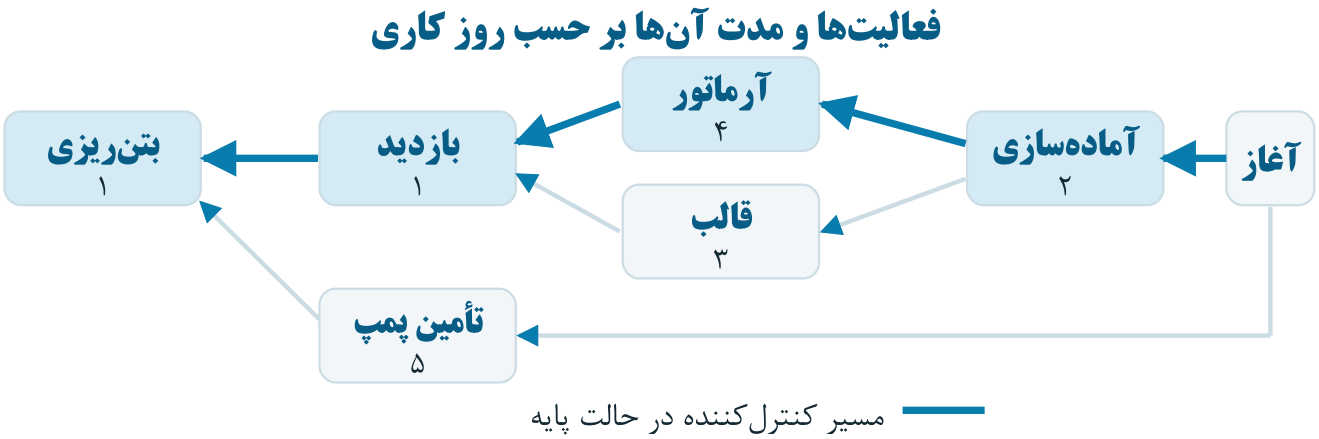
فهرست مطالب

کدام تأخیر به موعد بتن‌ریزی می‌رسد؟	۳
پیش‌نیاز، نقطه ادغام و شناوری چه معنایی دارند؟	۴
چه داده‌ای باید به مدل بدهیم؟	۵
چگونه زودترین و دیرترین زمان‌ها را دستی حساب کنیم؟	۶
چگونه پاسخ ChatGPT را با ورودی پیوند دهیم؟	۷
چه زمانی تأخیر قالب‌بندی مسیر را عوض می‌کند؟	۸
چگونه خطای منطق را قبل از گزارش پیدا کنیم؟	۹
پیش از تحویل برنامه چه چیزهایی را کنترل کنیم؟	۱۰

کدام تأخیر به موعد بتن‌ریزی می‌رسد؟

مهندس دفتر فنی باید به سرپرست کارگاه بگوید کدام فعالیت امروز به پیگیری نیاز دارد. صرفاً دانستن اینکه یک اکیپ عقب است، اثر آن بر تاریخ بتن‌ریزی را معلوم نمی‌کند. ممکن است هم‌زمان با قالب‌بندی، آرماتوربندی جلو برود و در پایان، موعد مشترک را کاری تعیین کند که دیرتر آماده می‌شود.

روش مسیر بحرانی، برنامه را به فعالیت‌های دارای مدت و پیش‌نیاز تبدیل می‌کند. در مثال این درس، «اتمام بتن‌ریزی» نقطه هدف است. مسیر بحرانی، زنجیره‌ای است که در مدل ساده ما، زمان این نقطه را کنترل می‌کند. تصمیم هفته جاری از جدول زمان‌ها، منطق اجرایی و وضعیت واقعی اکیپ‌ها به دست می‌آید.



شکل ۱. شبکه تألیفی کارگاه. آبی پررنگ مسیر کنترل‌کننده موعد پایه را نشان می‌دهد. پیکان‌ها تقدم اجرایی را نشان می‌دهند.

پیش‌نیاز، نقطه ادغام و شناوری چه معنایی دارند؟

در رابطه پایان به آغاز، فعالیت بعدی تا پایان پیش‌نیاز شروع نمی‌شود. مدت فعالیت فاصله بین شروع و پایان در زمان کاری است. در مثال، زمان صفر ابتدای برنامه است. فعالیت دو روزه‌ای که از صفر آغاز می‌شود، در زمان ۲ پایان می‌یابد. این زمان مرزی است و شماره روز تقویمی محسوب نمی‌شود.

در نقطه ادغام، فعالیت پسین منتظر همه کارهای قبلی است. کنترل آرماتور و قالب زمانی آغاز می‌شود که هر دو آماده باشند. جمع کردن مدت دو فعالیت موازی، تأخیر مصنوعی می‌سازد. گرفتن پایان کوچک‌تر هم با منطق کارگاه تعارض دارد.

شناوری کل مقدار جابه‌جایی قابل‌تحمل در همین مدل و نسبت به انتهای تعریف‌شده است. در شبکه ساده، شناوری صفر علامت کنترل موعد است. شناوری آزاد به تأخیر قابل‌تحمل بدون جابه‌جایی شروع زودترین فعالیت بعدی می‌پردازد. در یک برنامه واقعی، اتمام هدف، قیدها، تقویم و رابطه‌های شبکه بر تفسیر این اعداد اثر می‌گذارند.



عکس ۱. آرماتور در یک کارگاه واقعی، اثر Dean Hochman با مجوز CC BY 2.0. عکس مربوط به پروژه تمرین نیست.

منبع عکس کارگاه

متن مجوز عکس

چه داده‌ای باید به مدل بدهیم؟

فرض می‌کنیم یک ناحیه کوچک پی در دست اجراست. آرماتورها خارج محدوده نصب قالب پیش‌مونتاژ می‌شوند و تکمیل هر دو کار برای بازدید لازم است. تأمین پمپ یک کار موازی از ابتدای برنامه است. همه مدت‌ها روز کاری‌اند، همه روابط پایان به آغاز بدون فاصله‌اند و کل تمرین یک تقویم دارد. محدودیت اکیپ و تعطیلی در مدت‌های فرضی مدل نشده است.

جدول ۱. داده‌های برنامه پایه

شناسه	فعالیت	مدت، روز کاری	پیش‌نیاز
A	آماده‌سازی جبهه	۲	شروع
B	آماده‌سازی و نصب آرماتور	۴	A
C	قالب‌بندی	۳	A
D	بازدید مشترک پیش از بتن‌ریزی	۱	B و C
F	هماهنگی تأمین پمپ	۵	شروع
E	بتن‌ریزی	۱	D و F

پیش از محاسبه، مطمئن شوید شناسه‌ها یکتا هستند و هیچ پیش‌نیاز ناشناخته یا چرخه‌ای وجود ندارد. هر فعالیت این مثال باید در زنجیره‌ای به بتن‌ریزی برسد. اگر روش واقعی نصب آرماتور مستلزم اتمام قالب است، جدول ورودی را اصلاح کنید. مدل باید رابطه‌ای را محاسبه کند که تیم اجرا تأیید کرده است.

ایسبوک ACE متره میلگرد فونداسیون، برای تبدیل نقشه و جزئیات آرماتور به داده قابل اندازه‌گیری

دوره متره و برآورد ACE، برای تمرین استخراج مقدار عملیات از نقشه

چگونه زودترین و دیرترین زمان‌ها را دستی حساب کنیم؟

عبور رفت. زودترین شروع یک فعالیت برابر دیرترین پایانِ بین پیش‌نیازهای آن است. مدت را به آن اضافه کنید. A از صفر تا ۲، B از ۲ تا ۶ و C از ۲ تا ۵ است. D تا پایان B و C صبر می‌کند، پس از ۶ تا ۷ است. F از صفر تا ۵ است. بتن‌ریزی در زمان ۷ آغاز و در ۸ تمام می‌شود.

عبور برگشت. دیرترین پایان E را ۸ بگذارید. با کم‌کردن مدت، دیرترین شروع آن ۷ می‌شود. D و F هر دو باید تا ۷ تمام شوند. دیرترین شروع D برابر ۶ و F برابر ۲ است. B و C باید تا ۶ تمام شوند؛ بنابراین دیرترین شروع آن‌ها به‌ترتیب ۲ و ۳ است. A باید پیش از زودترینِ دو موعد دیرترینِ شروع جانشینانش، یعنی زمان ۲، تمام شود.

$$TF = LS - ES = LF - EF$$

در رابطه، شناوری کل با TF، زودترین شروع و پایان با ES و EF، دیرترین شروع و پایان با LS و LF نمایش داده شده‌اند. همه مقادیر بر حسب روز کاری است. «کمینه» در برگشت به‌دلیل الزام رسیدن به همه جانشین‌هاست.

جدول ۲. نتیجه عبور رفت و برگشت

شناسه	زودترین شروع و پایان	دیرترین شروع و پایان	شناوری کل
A	۰ تا ۲	۰ تا ۲	۰
B	۲ تا ۶	۲ تا ۶	۰
C	۲ تا ۵	۳ تا ۶	۱
D	۶ تا ۷	۶ تا ۷	۰
F	۰ تا ۵	۲ تا ۷	۲
E	۷ تا ۸	۷ تا ۸	۰

چگونه پاسخ ChatGPT را با ورودی پیوند دهیم؟

جدول CSV همراه درس را در ChatGPT بارگذاری کنید یا سطرها را عیناً بچسبانید. امکان بارگذاری و نمودار تعاملی به محیط و حساب وابسته است. اگر بارگذاری فعال نبود، برای این جدول کوچک وارد کردن متن کافی است. شماره ساخت رابط در راهنمای رسمی مشخص نشده است.

Film Locations In San Francisco

	Title	Release Year	Locations	Fun Facts	Pro
1	Experiment in Terror	1962	The Sea Captain's Chest (Fisherman's Wharf)		Col Cor
2	Experiment in Terror	1962	100 St. Germain Avenue		Col Cor
3	Chan is Missing	1982	Li Po (916 Grant Avenue at Washington, Chinatown)		Nev
			Taylor and Jefferson		

شکل ۲. نمای واقعی راهنمای رسمی ChatGPT از جدول داده نمونه. سرستون‌ها و سطرهای خوانده‌شده را پس از بارگذاری بازبینی کنید. داده داخل تصویر متعلق به راهنماست.

راهنمای رسمی خواندن جدول و مشاهده داده در ChatGPT

دستور تمرین

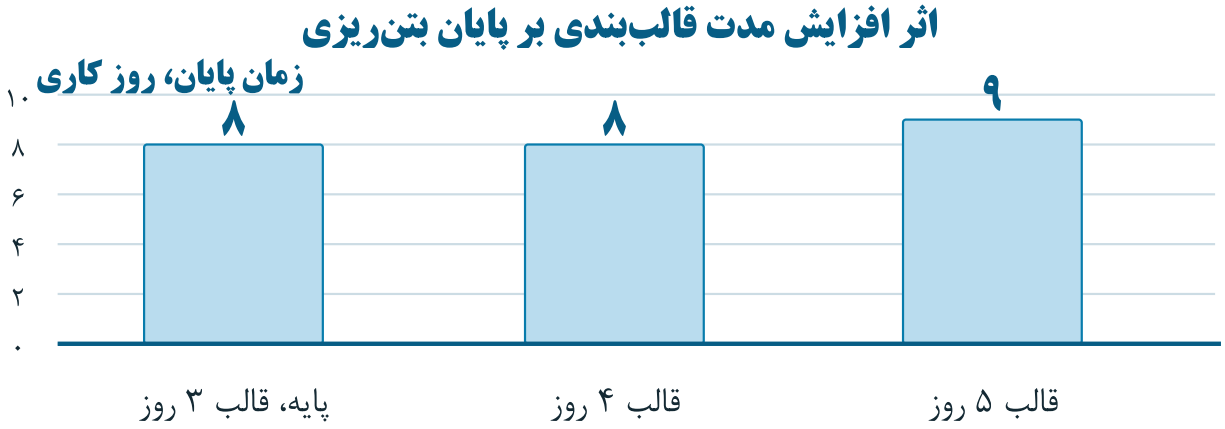
جدول ورودی را بدون افزودن فعالیت یا رابطه بازنویسی کن. پایان به آغاز، یک تقویم، زمان صفر و بدون وقفه. شناسه ناشناخته، چرخه یا فعالیت بی‌مسیر به E را اعلام کن. عبور رفت و برگشت، شناوری و مسیر بحرانی را برای پایه و حالت مدت ۵ روز برای C گزارش کن. در نقطه D علت انتخاب پیش‌نیاز تعیین‌کننده را بنویس.

در پاسخ واقعی متنیِ ثبت‌شده برای این درس، مدل پایه را ۸ روز و مسیر پیوسته را A، B، D و E به دست آورد. حالت دوم ۹ روز و مسیر A، C، D و E شد. این پاسخ از متن CSV در همین گفت‌وگو تولید شد. تصویر بالا اجرای این شبکه را نمایش نمی‌دهد. جدول مصدقِ مرحله قبل را پیش از استفاده با خروجی مدل مقایسه کنید.

چه زمانی تأخیر قالب‌بندی مسیر را عوض می‌کند؟

کنترل مستقلی که به حرف مدل وابسته نیست، جمع طول زنجیره‌هاست. در پایه، طول مسیر آرماتور ۲ + ۴ + ۱ + ۱ برابر ۸، مسیر قالب ۲ + ۳ + ۱ + ۱ برابر ۷ و مسیر پمپ ۵ + ۱ برابر ۶ روز است. این کنترل، بیشترین طول مسیر و ترتیب فعالیت‌ها را تأیید می‌کند. برای شناوری تک‌فعالیت‌ها، عبور برگشت همچنان لازم است.

با یک روز افزایش مدت C، پایان قالب‌بندی و آرماتوربندی هر دو به ۶ می‌رسند. دو مسیر بحرانی داریم و زمان پایان ۸ باقی می‌ماند. با دو روز افزایش، C در ۷ پایان می‌یابد، بازدید در ۸ و بتن‌ریزی در ۹ تمام می‌شود. پیگیری اکیپ قالب در حالت دوم مستقیماً به موعد هدف مربوط است.



شکل ۳. با مصرف نخستین روز شناوری قالب، موعد پایه حفظ می‌شود. روز دومِ افزایش مدت، پایان را به روز ۹ می‌برد.

نکته دفتر فنی

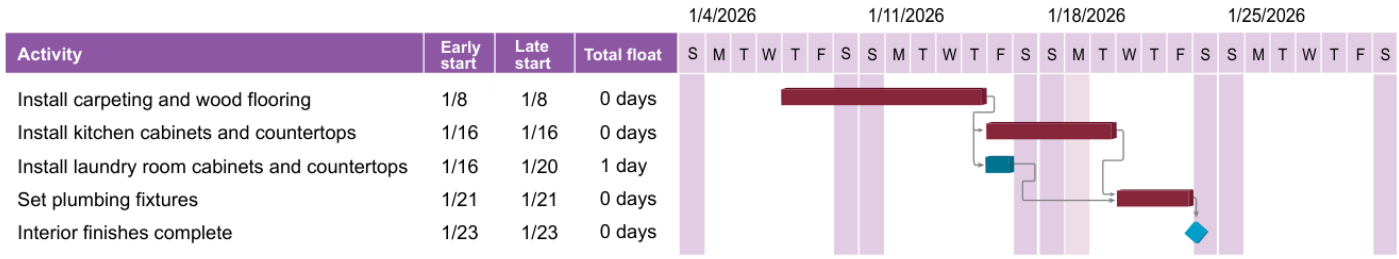
تاریخ برنامه، پیشرفت واقعی، علت بازبینی مدت و اثر بر فعالیت پسین را همراه نتیجه درج کنید تا خواننده نسخه پایه را با پیش‌بینی جدید اشتباه نگیرد.

چگونه خطای منطق را قبل از گزارش پیدا کنیم؟

اگر هنگام کپی CSV پیش‌نیاز B از فعالیت D حذف شود، مسیر آرماتوربندی دیگر به موعد بتن‌ریزی نمی‌رسد. یک محاسبه که این نقص را نادیده بگیرد، پایان را ۷ نشان می‌دهد. آزمون «آیا همه فعالیت‌ها به E می‌رسند؟» این داده را پیش از اعلام عدد رد می‌کند. در فایل تمرین، شناسه پیش‌نیازهای متعدد با علامت عمودی جدا شده است تا جداکننده CSV رابطه‌ها را نشکند.

برای کنترل روش، راهنمای ارزیابی برنامه زمان‌بندی GAO، نسخه دسامبر ۲۰۱۵، در صفحات چاپی ۷۵ تا ۷۶ نمونه دو فعالیت موازی و شناوری را نشان می‌دهد. پیوست چهارم از صفحه چاپی ۱۷۲ روش رفت و برگشت را شرح می‌دهد. برش شکل ۲۸ را این‌گونه بخوانید که ردیف فعالیت موازی کوتاه‌تر، یک روز شناوری دارد. این دفترچه مرجع روش است و متن حاکم بر قرارداد پروژه نیست.

Figure 28: The Critical Path and Total Float



Activity	Early start	Late start	Total float
Install carpeting and wood flooring	1/8	1/8	0 days
Install kitchen cabinets and countertops	1/16	1/16	0 days
Install laundry room cabinets and countertops	1/16	1/20	1 day
Set plumbing fixtures	1/21	1/21	0 days
Interior finishes complete	1/23	1/23	0 days

Source: GAO. | GAO-16-89G

شکل ۴. گزیده شکل ۲۸ راهنمای GAO، صفحه چاپی ۷۶. ستون شناوری کل را با ردیف فعالیت موازی کوتاه‌تر تطبیق دهید.

مشاهده شکل ۲۸ در نسخه رسمی راهنمای GAO

مشاهده پیوست عبور رفت و برگشت

کادر پیشرفته

در شبکه دارای چند تقویم، موعد تحمیلی، روابط هم‌پوشان یا محدودیت منابع، تشخیص مسیر راننده موعد به تحلیل روابط کنترلی و تقویم نیاز دارد. فهرست فعالیت‌های دارای شناوری صفر، به‌تنهایی زنجیره پیوسته را اثبات نمی‌کند. تمرین حاضر یک مدل قطعی پایه است و احتمال تأخیر را برآورد نمی‌کند.

پیش از تحویل برنامه چه چیزهایی را کنترل کنیم؟

جدول ۳. چک‌لیست کنترل نسخه برنامه

کنترل	نشانه پذیرش
تعریف هدف	موعد مشخص و فعالیت‌های وابسته به آن معلوم است
ورودی	مدت، واحد، پیش‌نیاز و تقویم ثابت‌اند
مسیر	از آغاز تا هدف پیوسته و قابل ردیابی است
کنترل مستقل	طول بیشترین زنجیره و زمان دیرترین با جدول سازگارند
تصمیم	فعالیت مسئول، دلیل اولویت و نسخه برنامه مشخص‌اند

در گزارش کوتاه چه می‌نویسیم؟ «در نسخه پایه، پایان زمان ۸ است. در پیش‌بینی جدید، مدت قالب‌بندی از ۳ به ۵ روز رسیده است. بازدید تابع پایان قالب‌بندی در زمان ۷ و پایان بتن‌ریزی زمان ۹ است. وضعیت تأمین پمپ و امکان انجام بازدید قبل از ثبت تاریخ جدید تأیید شود.»

اگر F دو روز دیرتر شروع کند چه می‌شود؟ با مدت ثابت ۵، پایان F به زمان ۷ می‌رسد. E همچنان از ۷ شروع می‌شود، اما با این تغییر، هر تأخیر بیشتر در F زمان شروع E را جابه‌جا می‌کند.

چرا صفر بودن شناوری یک فعالیت کافی نیست؟ باید دید آن فعالیت با یک رشته رابطه معتبر به هدف متصل است و زمان کدام جانشین را کنترل می‌کند. کد یا رنگ فعالیت نمی‌تواند جای بررسی منطق شبکه را بگیرد.

اگر C در پایه سه روز طول بکشد ولی اکیپ آن با B مشترک باشد چه؟ فرض استقلال دو فعالیت برقرار نیست. قبل از استناد به عدد ۸، نحوه تخصیص اکیپ و امکان هم‌پوشانی واقعی را مدل کنید.