

دانشگاه تهران – دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر راهنمای حل تشریحی کامل (نسخه دستیار آموزشی)

درس علم داده – بهار ۱۴۰۴

ویرایش ۰۲

هدف این سند: یکدست‌سازی نمره‌دهی، تعریف معیارهای علمی، و ارائه پاسخ مرجع برای تمام سوالات تمرین نهایی توسعه‌یافته.

فلسفه نمره‌دهی

- صحت علمی: فرمول، استدلال و تفسیر باید دقیق باشند.
- کیفیت مهندسی: کد ماژولار، قابل اجرا، و بازتوانیدن باشد.
- شفافیت: مفروضات، محدودیت‌ها و ریسک‌ها صریح بیان شوند.
- مسئولیت‌پذیری: تحلیل عدالت و سیاست مداخله انسانی الزامی است.

Q1) چرخه عمر علم داده و صورت‌بندی مسئله

حد انتظار پاسخ عالی:

۱. تعریف روش مسئله: «پیش‌بینی احتمال مهاجرت برای پشتیبانی تصمیم‌گیر».
۲. تعریف متريک‌ها: ROC-AUC برای رتبه‌بندی، Recall@K برای یافتن موارد حساس، و کالیبراسيون برای قابلیت اتكا.
۳. چرخه کامل: framing -> data -> validation -> modeling -> deployment -> monitoring
۴. ثبت ریسک‌ها: نشت داده، concept drift، تعییر سیاست، و کیفیت برچسب.

خطاهای متداول:

- ادعای علیّ از داده مشاهده‌ای بدون قیود.
- نبود برنامه پایش پس از استقرار.

Q2) عملیات داده و EDA

پاسخ مرجع:

- حسابرسی .dtype/null/duplicate/range
- حداقل ۶ تا ۸ نمودار معنادار با تفسیر تصمیم‌محور.
- پیاده‌سازیتابع پیش‌پردازش تکرار‌پذیر (ترجیحاً با آزمون واحد).

حداقل نمودارهای پیشنهادی:

۱. توزیع متغیر هدف.

۲. توزیع ویژگی‌های کلیدی (GitHub_Activity, Research_Citations)

۳. همبستگی ویژگی‌های عددی.

۴. نرخ مهاجرت به تقییک کشور.

۵. اثر Education_Level بر هدف.

۶. نمودار پرتهای برای ۲ ویژگی حساس.

استنباط آماری Q³

الگوی پاسخ معتبر:

• تعریف فرض صفر/مقابل.

• انتخاب آزمون مناسب با نوع داده (مثلًا آزمون دو نمونه‌ای یا chi-square).

• تفسیر صحیح p-value: احتمال مشاهده داده (یا شدیدتر) تحت درست بودن H_0 .

• تفسیر بازه اطمینان: بازه‌ای از مقادیر سازگار با داده در سطح اطمینان مشخص.

نکته نمره‌دهی: اگر داشجو p-value را احتمال درست بودن H_0 تفسیر کند، کسر نمره قابل توجه اعمال شود.

طراحی بصری و روایت داده Q⁴

شاخص‌های پاسخ قوی:

• KPI‌ها به تصمیم واقعی متصل باشند (مثلًا نرخ موفقیت دعوت به برنامه مهاجرت).

• استفاده درست از ادراک بصری (area/color position/length) بهتر از

• نمایش حداقل یک خطای طراحی (مثل قطع محور (y و نسخه اصلاح شده.

پیشرفته SQL Q⁵

الگوی مرجع میانگین متحرک و رتبه‌بندی:

```
( AS citation_velocity WITH
,Research_Citations ,Year ,Country_Origin ,UserID SELECT
( OVER AVG(Research_Citations)
Country_Origin BY PARTITION
Year BY ORDER
ROW CURRENT AND PRECEDING 2 BETWEEN ROWS
moving_avg_citations AS )
Professionals_Data FROM
)
```

```
( OVER DENSE_RANK() ,* SELECT
DESC moving_avg_citations BY ORDER Country_Origin BY PARTITION
country_rank AS )
citation_velocity; FROM
```

معیارهای نمره‌دهی:

- استفاده صحیح از PARTITION BY/ORDER BY/window frame
- رعایت منطق زمانی و جلوگیری از نشت آینده.
- کیفیت کوئری cohort با CTE

Q6) نشت داده و معماری کلانداده

تشخیص نشت:

- نشت مستقیم (پسار و بدادی). Visa_Approval_Date
- نشت زمانی بالقوه. Last_Login_Region
- پراکسی زمانی بالقوه. Passport_Renewal_Status
- در صورت محاسبه نقطه-نقطه زمانی قابل قبول. Years_Since_Degree

معماری مورد قبول:

- لایه‌های Bronze/Silver/Gold
- point-in-time join با feature store
- همخوانی offline/online features
- پایش drift و صحت داده ورودی.

Q7) Elastic Net و تفسیر آماری

تابع هزینه:

$$J(\theta) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (h_\theta(x^{(i)}) - y^{(i)})^2 + \lambda_1 \sum_{j=1}^n |\theta_j| + \frac{\lambda_2}{2} \sum_{j=1}^n \theta_j^2$$

مشتق مختصه‌ای:

$$\nabla_{\theta_j} J = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (h_\theta(x^{(i)}) - y^{(i)}) x_j^{(i)} + \lambda_1 \partial |\theta_j| + \lambda_2 \theta_j$$

زیرگرادیان $|\theta_j|$:

$$\partial |\theta_j| = \begin{cases} 1 & \theta_j > 0 \\ -1 & \theta_j < 0 \\ [-1, 1] & \theta_j = 0 \end{cases}$$

تفسیر آماری نمونه: اگر $p-value=0.003$ و بازه اطمینان $[0.18, 0.86]$ باشد:

- فرض صفر $H_0 : \beta = 0$ رد می‌شود.
- چون صفر داخل بازه نیست، اثر مثبت معنی‌دار است.

Q⁸) بهینه‌سازی: SGD در برابر Momentum و Adam

پدیده ravine: خمیدگی زیاد در یک محور و کم در محور دیگر باعث نوسان SGD می‌شود.
Momentum:

$$v_t = \beta v_{t-1} + \eta g_t, \quad \theta_{t+1} = \theta_t - v_t$$

میانگین‌گیری زمانی از گرادیان، نوسان‌های عالمت‌عرضکن را می‌کاهد و حرکت در جهت پایدار را تقویت می‌کند.

Adam:

- ممان اول و دوم گرادیان را نگه می‌دارد.
- نرخ یادگیری موثر را به صورت پارامتری تنظیم می‌کند.
- در ناهمگنی مقیاس ویژگی‌ها معمولاً پایدارتر است.

Q⁹) مدل‌های غیرخطی و تنظیم پیچیدگی

(الف) SVM-RBF

اگر مدل بیشبرازش دارد، γ باید کاهش یابد تا حوزه اثر هر نقطه آموزشی بزرگ‌تر شده و مرز تصمیم هموارتر شود.

(ب) هرس درخت

$$R_\alpha(T) = R(T) + \alpha|T|$$

با افزایش α ، جریمه پیچیدگی بزرگ‌تر شده و درخت کوچک‌تر می‌شود (بایاس بیشتر، واریانس کمتر).

Q¹⁰) کاهش بعد و PCA

برای مقادیر ویژه $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$:

$$\text{EVR}_k = \frac{\lambda_k}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}$$

نسبت واریانس دو مؤلفه اول:

$$\text{EVR}_{1,2} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\sum_i \lambda_i}$$

تفسیر: مقدار ویژه، واریانس توضیح‌داده شده توسط آن مؤلفه اصلی است.

Q¹¹) خوشبندی و Elbow

دلیل هندسی/تحلیلی:

- WCSS با افزایش K همواره کاهش می‌یابد.
- نرخ کاهش WCSS بهتریج کم می‌شود (بازده نزولی).
- نقطه آرنج، جایی است که افزایش K بهبود معنادار نسبت به هزینه پیچیدگی ندارد.

Q¹²) شبکه‌های عصبی و مدل توالی

پاسخ کامل باید شامل:

- معماری،تابع زیان،optimizer و برنامه آموزش.
- راهکار کنترل بیشبرازش (dropout/early stopping/weight decay).
- مقایسه با baseline کلاسیک و تحلیل خطای.

Q۱۳) مدل زبانی و LLM Agent

طرح پیشنهادی:

- Plan: شکستن مسئله به گام‌های قابل کنترل.

- Retrieve: بازیابی شواهد معتبر.

- Reason: استدلال کنترل شده بر اساس شواهد.

- Verify: راستی‌آزمایی خروجی و ثبت عدم‌قطعیت.

شاخص‌های ارزیابی:

- Faithfulness

- نرخ Hallucination

- اینمی محتوایی و انطباق سیاستی

Q۱۴) عدالت، سوگیری و حاکمیت

انتظارات اصلی:

- گزارش متريک زيرگروهي (کشور/تحصيلات/...).

- تحليل خطر proxy و بازتوليد سوگيري تاریخي.

- طراحی مسیر human override و بازبینی پرونده.

Q۱۵) کالibrاسيون و سیاست آستانه

موارد لازم:

- منحنی کالibrاسیون و تفسیر شکاف با خط ایده‌آل.

- يك يا دو معیار کالibrاسیون (مثلًا ECE و Brier).

- دو آستانه:

۱. آستانه بهینه برای بیشینه کردن F1.

۲. آستانه بهینه بر اساس هزینه نامتقارن خطا (هزینه $FN < FP$).

- توصیه نهایی باید بر مبنای هزینه/کاربرد باشد، نه پیشفرض ۰,۵.

Q۱۶) تشخيص درفت و پایش

موارد لازم:

- تقسیم داده به پنجره مرجع/جاری (ترجیحاً زمانی؛ در نبود زمان، تقسیم تصادفی).

- محاسبه و رتبه‌بندی PSI برای ویژگی‌های عددی؛ سیاست تفسیر:

– $PSI < 10.0$: پایین

– $10.0 - 25.0$: متوسط

– ≥ 25.0 : بالا (بررسی و اقدام)

- يك شاخص درفت برای دسته‌ای‌ها (مثلًا JS divergence توزیع کشور).

- پیشنهاد SOP پایش: آستانه هشدار/حرانی و حرک بازآموزی.

(Q17) ریکورس مقابله‌ای

موارد لازم:

- تعریف ویژگی‌های قابل مداخله (مثلًا Industry_Experience، Research_Citations، GitHub_Activity) جستجوی کمینه تغییر برای عبور از آستانه تصمیم، با سقف‌های واقع‌گرایانه.
- گزارش نرخ موفقیت ریکورس، میانه تغییر برای هر ویژگی، و بحث امکان/اخلاق.

(Q18) اعتبارسنجی زمانی و افت عملکرد

موارد لازم:

- طراحی rolling backtest زمانی؛ در نبود ستون زمانی، fallback باید شفاف و مستند باشد.
 - گزارش متريک‌های هر fold (حداکثر AUC و F1) و مقدار افت نسبت به fold اول.
 - تحلیل رابطه افت عملکرد با شاخص درفت (مانند ميانگين PSI).
 - خروجی‌های الزامی: .q18_temporal_degradation.png و .q18_temporal_backtest.csv.
- نکته تصحیح: اگر fallback زمانی استفاده شده باشد ولی در گزارش صریح توضیح داده نشود، کسر نمره اعمال شود.

(Q19) کمی‌سازی عدم قطعیت

موارد لازم:

- پیاده‌سازی روش conformal (یا معادل معترض) برای بازه‌نمره اطمینان.
 - گزارش پوشش تجربی در چند سطح اطمینان (مثلًا ۸۰/۹۰/۹۵ درصد).
 - تحلیل پنهانی بازه و ریسک کمپوششی.
 - خروجی‌های الزامی: .q19_coverage_vs_alpha.png و .q19_uncertainty_coverage.csv.
- نکته تصحیح: گزارش سطح اطمینان بدون سنجش پوشش تجربی کافی نیست.

(Q20) آزمایش مداخله عدالت الگوریتمی

موارد لازم:

- خط پایه عدالت زیرگروهی (حداکثر equal opportunity gap یا demographic parity gap) و مقایسه قبل/بعد.
 - تحلیل مصالحه عدالت-عملکرد و بررسی قید سیاستی (مثلًا سقف افت AUC/F1).
 - خروجی‌های الزامی: .q20_fairness_tradeoff.png و .q20_fairness_mitigation_comparison.csv.
- نکته تصحیح: اگر دانشجو بهبود عدالت را گزارش کند اما قید سیاستی/کسبوکاری نداشته باشد، نمره کامل داده نشود.

SHAP تبیین‌پذیری Capstone)

مفاهیم کلیدی:

• مقدار پایه مدل (میانگین خروجی در داده مرجع). base_value

• خروجی نهایی برای نمونه خاص. output_value

• مجموع مقادیر SHAP برابر اختلاف این دو مقدار است.

تفسیر سناریوی نمونه: اگر داوطلب با Research_Citations بالا پیش‌بینی «عدم مهاجرت» بگیرد، باید نشان داده شود کدام ویژگی‌های منفی (مثلًا الگوهای تجربه/کشور/سایر عوامل) اثر مثبت استنادات را خنثی کردند.

جدول راهنمای سریع کسر/اعطای نمره

| وضعیت پاسخ | سیاست نمره‌دهی |
|--|--|
| فرمول درست + تفسیر دقیق + نمره کامل پیاده‌سازی بازتولیدپذیر | |
| فرمول درست ولی تفسیر آماری ناقص عدم کنترل نشت داده | کسر ۲۰ تا ۴۰ درصد همان سوال کسر سنگین (تا ۵۰ درصد بلوك مرتبه) |
| نتیجه خوب بدون شواهد اجرای کد تحلیل عدالت ناقص/حذف شده | کسر ۳۰ درصد کسر کامل بلوك اخلاق |

توصیه به تصحیح‌کنندگان: اگر دانشجو فرضیات را شفاف کرده، محدودیت‌هارا صادقانه گزارش داده و مسیر مهندسی قابل بازتولید ارائه کرده است، حتی با متريک متوسط نيز پاسخ باکيفت محسوب می‌شود.