



دانشگاه صنعتی اصفهان

پروژه کارشناسی

عنوان: مدل سازی رگرسیونی عوامل پیش بینی زمان واکنش در آزمون PVT بر اساس

شاخص های خواب و عملکرد شناختی

استاد راهنما: دکتر حامد لروند

استاد مشاور: آقای پویا علی نیان

نگارش: فائزه یاری

پاییز و زمستان ۱۴۰۴

معرفی مجموعه داده و تعریف متغیرها

در این پژوهش از یک مجموعه داده شامل ۶۰ شرکت‌کننده استفاده شده است. هدف داده‌ها بررسی ارتباط بین شاخص‌های خواب، ویژگی‌های فردی و عملکرد شناختی افراد است. هر ردیف داده نمایانگر یک شرکت‌کننده و هر ستون نشان‌دهنده یک متغیر پژوهشی است.

در ادامه، هر یک از متغیرهای مورد استفاده معرفی شده و نوع آن‌ها (کمی یا کیفی) و حدود تغییراتشان بیان می‌شود.

تعریف متغیرها

نام متغیر	توضیح متغیر	نوع متغیر	محدوده تغییرات
Participant_ID	شناسه هر شرکت‌کننده در مطالعه	کیفی اسمی	—
Sleep_Hours	مدت زمان خواب شبانه هر فرد بر حسب ساعت	کمی پیوسته	تقریباً ۳ تا ۹ ساعت
Sleep_Quality_Score	نمره کیفیت خواب (نمرات بالاتر نشان‌دهنده کیفیت بهتر خواب هستند)	کمی گسسته	۲۰ تا ۰
Daytime_Sleepiness	میزان خواب‌آلودگی فرد در طول روز (مقادیر بالاتر نشان‌دهنده خواب‌آلودگی بیشتر هستند)	کمی گسسته	۰ تا ۲۴
Stroop_Task_Reaction_Time ¹	زمان واکنش در آزمون استروپ بر حسب ثانیه (مقادیر بالاتر نشان‌دهنده واکنش کندتر هستند)	کمی پیوسته	تقریباً ۱.۶ تا ۴.۵ ثانیه
N_Back_Accuracy ²	درصد دقت پاسخ‌دهی در آزمون حافظه کاری مقادیر بالاتر نشان‌دهنده عملکرد بهتر هستند	کمی پیوسته	تقریباً ۱۰ تا ۷۰ درصد

¹ آزمون استروپ یکی از ابزارهای شناخته‌شده در روان‌شناسی برای سنجش توجه انتخابی، کنترل شناختی و مهار پاسخ است. در این آزمون، از شرکت‌کننده خواسته می‌شود رنگ نوشتار یک کلمه را بیان کند، در حالی که خود کلمه ممکن است نام رنگ دیگری باشد (برای مثال، واژه «قرمز» با رنگ آبی نوشته شده باشد).

در چنین شرایطی، فرد باید پاسخ خودکار خواندن کلمه را مهار کرده و تنها به رنگ نوشتار توجه کند. این تعارض بین معنای کلمه و رنگ آن به «اثر استروپ» معروف است.

² آزمون N-Back یکی از ابزارهای استاندارد برای ارزیابی حافظه کاری (Working Memory) است. حافظه کاری به توانایی نگهداری و پردازش هم‌زمان اطلاعات در ذهن برای مدت کوتاه اشاره دارد و نقش مهمی در یادگیری، تصمیم‌گیری و حل مسئله ایفا می‌کند.

Emotion_Regulation_Score ³	نمره تنظیم هیجان (نمرات بالاتر نشان‌دهنده توانایی بهتر در تنظیم هیجان هستند)	کمی گسسته	تقریباً ۱۰ تا ۶۷
PVT_Reaction_Time ⁴	زمان واکنش در آزمون PVT بر حسب میلی‌ثانیه (مقادیر بالاتر نشان‌دهنده کاهش هوشیاری هستند)	کمی پیوسته	تقریباً ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌ثانیه
Age	سن شرکت‌کننده بر حسب سال	کمی گسسته	تقریباً ۱۸ تا ۴۳ سال
Gender	جنسیت شرکت‌کننده (مرد / زن)	کیفی اسمی	Male / Female
BMI	شاخص توده بدنی (نسبت وزن به مجذور قد)	کمی پیوسته	تقریباً ۱۸ تا ۳۵
Caffeine_Intake	میزان مصرف کافئین بر اساس مقیاس عددی پرسشنامه (مقادیر بالاتر نشان‌دهنده مصرف بیشتر هستند)	کمی گسسته	۰ تا ۵
Physical_Activity_Level	سطح فعالیت بدنی فرد (مقادیر بالاتر نشان‌دهنده فعالیت بیشتر هستند)	کمی گسسته	۰ تا ۱۰
Stress_Level	سطح استرس ادراک شده (مقادیر بالاتر نشان‌دهنده استرس بیشتر هستند)	کمی گسسته	تقریباً ۰ تا ۴۰

در آزمون N-Back، مجموعه‌ای از محرک‌ها (مانند حروف یا اعداد) به‌صورت متوالی نمایش داده می‌شود و شرکت‌کننده باید مشخص کند آیا محرک فعلی با محرکی که N مرحله قبل نمایش داده شده، یکسان است یا خیر. هرچه مقدار N بزرگ‌تر باشد، بار شناختی و دشواری تکلیف افزایش می‌یابد. در این پژوهش، متغیر N_Back_Accuracy درصد پاسخ‌های صحیح شرکت‌کنندگان در این آزمون را نشان می‌دهد. مقادیر بالاتر بیانگر عملکرد بهتر در حافظه کاری هستند.

³ نمره تنظیم هیجان (Emotion Regulation Score) شاخصی از توانایی فرد در شناسایی، درک، ارزیابی و مدیریت هیجانات خود، به‌ویژه در موقعیت‌های تنش‌زا یا برانگیزاننده هیجانی است که به وسیله یک آزمون مشخص می‌شود. این متغیر نشان می‌دهد فرد تا چه حد می‌تواند پاسخ‌های هیجانی نامناسب را کنترل کرده و از راهبردهای سازگارانه (مانند بازسازی شناختی یا ارزیابی مجدد موقعیت) برای تنظیم هیجان استفاده کند. نمرات بالاتر بیانگر توانایی بیشتر در تنظیم مؤثر هیجانات و کنترل واکنش‌های هیجانی هستند، در حالی که نمرات پایین‌تر می‌تواند نشان‌دهنده دشواری در مدیریت هیجانات و واکنش‌های تکانشی باشد.

⁴ زمان واکنش در آزمون PVT (Psychomotor Vigilance Task) شاخصی از سطح هوشیاری، توجه پایدار و سرعت پردازش روان‌حرکتی فرد است. در این آزمون، شرکت‌کننده باید در سریع‌ترین زمان ممکن به یک محرک دیداری پاسخ دهد. میانگین زمان واکنش (بر حسب میلی‌ثانیه) به عنوان نمره فرد ثبت می‌شود. مقادیر بالاتر نشان‌دهنده کندی واکنش، کاهش هوشیاری و افت عملکرد توجه پایدار هستند.

آماده‌سازی داده‌ها

```
1 # خواندن داده
2 data <- read.csv("D:/Faeze/پروژه/sleep_deprivation.csv")
3
4 # حذف شناسه
5 data$Participant_ID <- NULL
6
7 # تبدیل جنسیت به فاکتور
8 data$Gender <- as.factor(data$Gender)
9
10 # بررسی ساختار داده
11 str(data)
12
13 # خلاصه آماری
14 summary(data)
```

```
> # بررسی ساختار داده
> str(data)
'data.frame': 60 obs. of 13 variables:
 $ Sleep_Hours      : num  5.25 8.7 7.39 6.59 3.94 3.94 3.35 8.2 6.61 7.25 ...
 $ Sleep_Quality_Score : int  15 12 17 14 20 12 8 14 12 0 ...
 $ Daytime_Sleepiness : int  12 14 10 3 12 6 18 21 1 9 ...
 $ Stroop_Task_Reaction_Time: num  1.6 2.54 3.4 3.54 3.09 2.84 3.16 3.28 1.74 2.61 ...
 $ N_Back_Accuracy   : num  64.2 65.3 74.3 72.4 99.7 ...
 $ Emotion_Regulation_Score : int  12 21 35 25 60 46 31 66 38 23 ...
 $ PVT_Reaction_Time : num  366 289 326 277 383 ...
 $ Age               : int  35 20 18 18 36 28 22 29 20 18 ...
 $ Gender            : Factor w/ 2 levels "Female","Male": 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 ...
 $ BMI               : num  30.5 27.3 30 34.5 29.7 ...
 $ Caffeine_Intake   : int  2 3 1 5 3 3 4 1 3 3 ...
 $ Physical_Activity_Level : int  1 8 2 0 4 6 5 0 4 4 ...
 $ Stress_Level      : int  33 37 32 23 14 29 16 4 28 3 ...

> # خلاصه آماری
> summary(data)
 Sleep_Hours      Sleep_Quality_Score Daytime_Sleepiness Stroop_Task_Reaction_Time N_Back_Accuracy
Min.   :3.120   Min.   : 0.000   Min.   : 0.0   Min.   :1.600   Min.   :50.90
1st Qu.:4.107   1st Qu.: 4.000   1st Qu.: 6.0   1st Qu.:2.595   1st Qu.:64.62
Median :5.690   Median : 8.000   Median :11.5   Median :3.260   Median :74.27
Mean   :5.806   Mean   : 8.317   Mean   :12.0   Mean   :3.245   Mean   :75.01
3rd Qu.:7.285   3rd Qu.:13.000   3rd Qu.:19.0   3rd Qu.:3.965   3rd Qu.:85.60
Max.   :8.820   Max.   :20.000   Max.   :24.0   Max.   :4.490   Max.   :99.73
Emotion_Regulation_Score PVT_Reaction_Time      Age      Gender      BMI      Caffeine_Intake
Min.   :10.00   Min.   :201.6   Min.   :18.00   Female:23   Min.   :18.74   Min.   :0.000
1st Qu.:25.00   1st Qu.:257.5   1st Qu.:21.75   Male :37    1st Qu.:23.58   1st Qu.:1.000
Median :37.00   Median :327.2   Median :28.50   Median :27.36   Median :2.500
Mean   :38.15   Mean   :332.5   Mean   :29.52   Mean   :27.33   Mean   :2.383
3rd Qu.:54.25   3rd Qu.:402.8   3rd Qu.:36.00   3rd Qu.:30.75   3rd Qu.:4.000
Max.   :67.00   Max.   :494.6   Max.   :43.00   Max.   :34.93   Max.   :5.000
Physical_Activity_Level Stress_Level
Min.   : 0.000   Min.   : 0.00
1st Qu.: 1.000   1st Qu.: 8.75
Median : 4.000   Median :17.50
Mean   : 4.117   Mean   :17.87
3rd Qu.: 6.000   3rd Qu.:26.25
Max.   :10.000   Max.   :40.00
```

توصیف آماری داده‌ها

در این مطالعه، داده‌های مربوط به ۶۰ شرکت‌کننده مورد بررسی قرار گرفت. تمامی متغیرهای کمی دارای مقیاس عددی مناسب بوده و هیچ داده گمشده‌ای در مجموعه داده مشاهده نشد.

در این پژوهش، زمان واکنش در آزمون PVT به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و سایر متغیرها شامل شاخص‌های خواب، عملکرد شناختی و ویژگی‌های فردی به عنوان متغیرهای توضیحی (مستقل) وارد مدل رگرسیونی شدند.

متغیر وابسته (PVT_Reaction_Time)

میانگین زمان واکنش در آزمون PVT برابر با 332.5 میلی‌ثانیه و انحراف پراکندگی آن نسبتاً بالا است (دامنه تغییرات از ۲۰۱ تا ۴۹۴ میلی‌ثانیه).

این گستره نسبتاً وسیع نشان می‌دهد که تفاوت‌های فردی قابل توجهی در سطح هوشیاری و سرعت واکنش شرکت‌کنندگان وجود دارد.

در این پژوهش، متغیر **Sleep_Hours** نشان‌دهنده مدت زمان خواب شبانه هر فرد است. حداقل مدت زمان خواب در نمونه‌ها ۳.۱۲ ساعت و حداکثر آن ۸.۸۲ ساعت بوده است. میانه خواب برابر با ۵.۶۹ ساعت و میانگین آن ۵.۸۱ ساعت است. این داده‌ها نشان می‌دهند که اکثر افراد مدت زمانی کمتر از ۸ ساعت خواب دارند.

متغیر **Sleep_Quality_Score** که نمره کیفیت خواب را نشان می‌دهد، در این مطالعه نمراتی بین ۰ تا ۲۰ داشته است. نمره میانه برابر با ۸ و نمره میانگین ۸.۳۲ است. این نتایج بیانگر کیفیت خواب نسبتاً پایین در بیشتر افراد است، زیرا نمرات پایین‌تر نشان‌دهنده کیفیت خواب ضعیف‌تری هستند.

در مورد **Daytime_Sleepiness**، که میزان خواب‌آلودگی فرد در طول روز را اندازه‌گیری می‌کند، مقدار حداقل آن ۰ و حداکثر آن ۲۴ بود. میانه ۱۱.۵ و میانگین ۱۲.۰ نشان می‌دهند که اکثر افراد در طول روز سطح خواب‌آلودگی متوسط یا بیشتری را تجربه می‌کنند.

متغیر **Stroop_Task_Reaction_Time** نشان‌دهنده زمان واکنش فرد در آزمون استروپ است که برای سنجش کنترل شناختی و توجه انتخابی طراحی شده است. در این آزمون، شرکت‌کننده باید سریعاً رنگ یک کلمه را تشخیص دهد، حتی اگر معنی کلمه با رنگ واقعی آن مطابقت نداشته باشد (مثلاً کلمه «قرمز» به رنگ سبز

نوشته شده باشد). در داده‌های این پژوهش، حداقل زمان واکنش ۱.۶ ثانیه و حداکثر آن ۴.۴۹ ثانیه بوده است. میانه زمان واکنش برابر با ۳.۲۶ ثانیه و میانگین آن ۳.۲۵ ثانیه گزارش شده است.

یعنی ۱.۶ تا ۴.۴۹ ثانیه طول میکشد تا افراد یک رنگ که با رنگ متفاوت از خودش نوشته شده باشد را تشخیص دهد.

مقادیر بالاتر نشان‌دهنده واکنش کندتر و عملکرد ضعیف‌تر در کنترل توجه هستند، در حالی که مقادیر پایین‌تر بیانگر توانایی بالاتر فرد در مدیریت هم‌زمان اطلاعات متناقض و واکنش سریع به محرک‌ها است.

متغیر **N_Back_Accuracy** که درصد دقت فرد در آزمون حافظه کاری است، با مقادیر حداقلی ۵۰.۹ درصد و حداکثری ۹۹.۷ درصد در این مطالعه مشاهده شد. میانه دقت برابر با ۷۴.۲۷ درصد و میانگین ۷۵.۰۱ درصد است. یعنی درصد دقت افراد با توجه به آزمون در بازه ۵۰.۹ تا ۹۹.۷ درصدی بوده است.

یعنی درصد دقت افراد در توانایی نگهداری و پردازش هم‌زمان اطلاعات در ذهن برای مدت کوتاه با توجه به نتیجه آزمون بازه ۵۰.۹ تا ۹۹.۷ درصدی بوده است. این نشان می‌دهد که افراد به طور متوسط عملکرد خوبی در این آزمون داشته‌اند.

در رابطه با **Emotion_Regulation_Score**، که توانایی فرد در تنظیم هیجانات را نشان می‌دهد، نمرات بین ۱۰ و ۶۷ قرار داشتند. (با گرفتن آزمون این نمرات مشخص شده)^۵ میانه این نمره برابر با ۳۷ و میانگین ۳۸.۱۵ بود. این نتایج نشان‌دهنده توانایی نسبتاً بالای افراد در تنظیم هیجانات خود است.

یعنی افراد به طور میانگین در تنظیم هیجانات خود با توجه به آزمون نمره ۳۸.۱۵ را گرفته‌اند.

در خصوص **PVT_Reaction_Time** که زمان واکنش در آزمون PVT را اندازه‌گیری می‌کند، مقادیر زمان واکنش بین ۲۰۱.۶ میلی‌ثانیه تا ۴۹۴.۶ میلی‌ثانیه متغیر بود. میانه زمان واکنش برابر با ۳۲۷.۲ میلی‌ثانیه و میانگین ۳۳۲.۵ میلی‌ثانیه بود. این مقادیر نشان‌دهنده زمانی متوسط برای واکنش در این آزمون هستند که به نوعی نشان‌دهنده هوشیاری و سرعت پردازش اطلاعات افراد است.

یعنی زمان واکنش افراد بین ۲۰۱.۶ میلی‌ثانیه تا ۴۹۴.۶ میلی‌ثانیه بوده است.

^۵ نمره تنظیم هیجان از طریق پرسشنامه‌ای با مقیاس لیکرت محاسبه شد. در این مقیاس، شرکت‌کنندگان میزان موافقت خود را با هر عبارت در یک طیف چنددرجه‌ای (از کاملاً مخالفم تا کاملاً موافقم) مشخص کردند و نمره نهایی از طریق جمع نمرات به دست آمد. نمرات بالاتر نشان‌دهنده توانایی بیشتر در مدیریت و کنترل هیجانات بودند.

متغیر **Age** که سن افراد را نشان می‌دهد، در این مطالعه دامنه‌ای از ۱۸ تا ۴۳ سال داشت. میانه سن برابر با ۲۸.۵ سال و میانگین ۲۹.۵۲ سال بود.

در مورد **Gender**، که جنسیت افراد را اندازه‌گیری می‌کند، از ۶۰ شرکت‌کننده ۲۳ نفر زن و ۳۷ نفر مرد بودند. متغیر **BMI** که شاخص توده بدنی افراد را نشان می‌دهد، در این مطالعه دامنه‌ای از ۱۸.۷ تا ۳۴.۹۳ داشت. میانه شاخص توده بدنی برابر با ۲۷.۳۶ و میانگین ۲۷.۳۳ بود، که نشان‌دهنده وجود افراد با شاخص توده بدنی نرمال تا اضافه وزن در این گروه است.

برای **Caffeine_Intake** که میزان مصرف کافئین را نشان می‌دهد، مقادیر حداقلی ۰ و حداکثری ۵ گزارش شده است. میانه ۲.۵ و میانگین ۲.۳۸ نشان‌دهنده مصرف کافئین متوسط در این نمونه است.

متغیر **Physical_Activity_Level** که سطح فعالیت بدنی افراد را اندازه‌گیری می‌کند، با مقادیری از ۰ تا ۱۰ در این داده‌ها قرار دارد. میانه سطح فعالیت بدنی برابر با ۴ و میانگین ۴.۱۲ بود.

در نهایت، **Stress_Level** که سطح استرس افراد را اندازه‌گیری می‌کند، از ۰ تا ۴۰ متغیر بود. میانه استرس برابر با ۱۷.۵ و میانگین ۱۷.۸۷ بود، که نشان‌دهنده وجود سطح متوسط استرس در بیشتر افراد مطالعه است.

معرفی مدل کامل^۶

در گام نخست، به منظور بررسی همزمان اثرات اصلی و اثرات متقابل متغیرهای مستقل بر زمان واکنش PVT، یک مدل رگرسیون خطی کامل شامل تمامی اثرات اصلی و کلیه اثرات متقابل بین متغیرها برآزش شد.

```
370 full_model <- lm(  
371   PVT_Reaction_Time ~  
372   Sleep_Hours *  
373   Sleep_Quality_Score *  
374   Stress_Level *  
375   N_Back_Accuracy *  
376   Stroop_Task_Reaction_Time *  
377   Gender,  
378   data = data  
379 )  
380  
381 summary(full_model)
```

```
Residual standard error: 43.46 on 5 degrees of freedom  
Multiple R-squared: 0.9792, Adjusted R-squared: 0.755  
F-statistic: 4.367 on 54 and 5 DF, p-value: 0.05171
```

نتایج نشان داد که مدل نهایی از نظر برآزش، توان تبیین بسیار بالایی دارد، به طوری که مقدار R^2 برابر با ۰.۹۷۹ به دست آمد که بیانگر تبیین حدود ۹۸ درصد از واریانس متغیر وابسته است.

اگرچه مقدار ضریب تعیین تعدیل شده^۷ (۰.۷۵۵) کمتر از ضریب تعیین^۸ خام است، این کاهش با توجه به پیچیدگی مدل و وجود اثرات متقابل متعدد قابل انتظار بوده و همچنان نشان دهنده قدرت تبیین مناسب مدل پس از اعمال جریمه پیچیدگی است.

آزمون کلی مدل^۹ نشان داد که مدل در سطح مرزی معناداری آماری قرار دارد ($p = 0.051$)، که بیانگر آن است که مدل در مجموع ساختار معناداری برای توضیح تغییرات متغیر وابسته ارائه می‌دهد، هرچند با توجه به حجم نمونه محدود و درجات آزادی پایین، توان آزمون کاهش یافته است.

مقدار خطای استاندارد باقیمانده^{۱۰} ۴۳.۴۶ نشان می‌دهد که خطای پیش‌بینی مدل در مقایسه با دامنه تغییرات متغیر وابسته در سطح قابل قبولی قرار دارد و مدل از نظر دقت پیش‌بینی عملکرد مناسبی دارد.

⁶ Full Model

⁷ Adjusted R-squared

⁸ R-squared

⁹ F-test

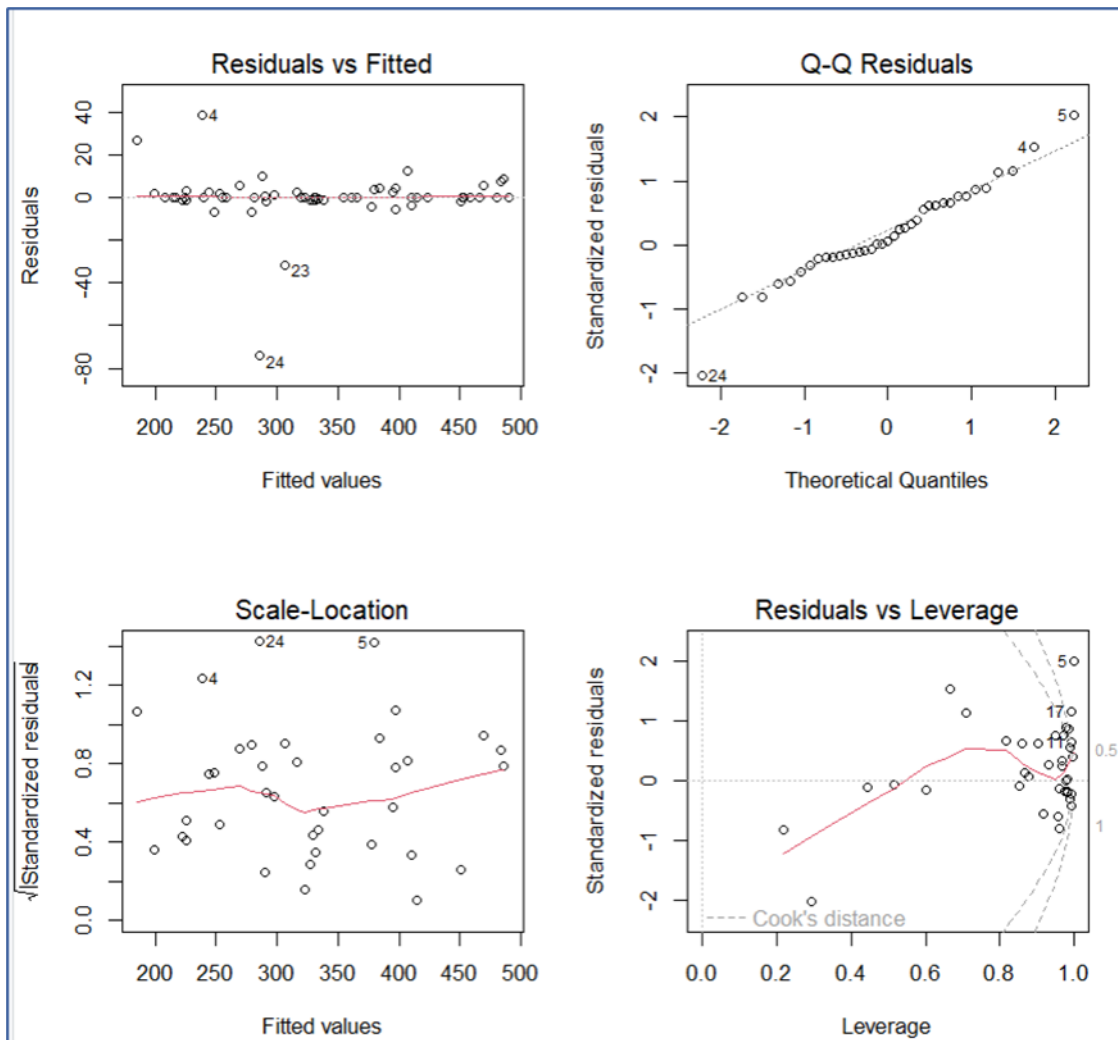
¹⁰ Residual Standard Error

با توجه به ضریب تعیین بسیار بالا، ضریب تعیین تعدیل شده قابل قبول و قرار گرفتن آزمون کلی مدل در سطح مرزی معناداری، می‌توان نتیجه گرفت که مدل نهایی از نظر تبیین و ساختار آماری مناسب بوده و محدودیت اصلی آن ناشی از حجم نمونه و درجات آزادی پایین است، نه ضعف مدل.

بررسی فرض های رگرسیون برای مدل کامل

به منظور بررسی فرض رگرسیون خطی، نمودارهای تشخیصی مدل شامل نرمال بودن باقیمانده‌ها، همسانی واریانس و نقاط پرت مورد بررسی قرار گرفت.

```
par(mfrow = c(2,2))  
plot(full_model)  
  
shapiro.test(residuals(full_model))
```



Shapiro-Wilk normality test

```
data: residuals(full_model)  
W = 0.53712, p-value = 1.801e-12
```

برای بررسی فرض نرمال بودن باقی‌مانده‌های مدل رگرسیونی، از آزمون Shapiro–Wilk استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که مقدار آماره آزمون برابر با $W = 0.537$ و مقدار $p\text{-value} < 0.001$ ($p = 1.8 \times 10^{-12}$) است.

بنابراین، فرض صفر مبنی بر نرمال بودن توزیع باقی‌مانده‌ها رد می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت که باقی‌مانده‌های مدل از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند.

اجرای روش Backward

در گام بعد، به منظور ساده‌سازی مدل و کاهش پیچیدگی، روش حذف پس‌رو^{۱۱} بر روی مدل کامل اجرا شد.

```
backward_model <- step(
  full_model,
  direction = "backward",
  trace = TRUE
)

summary(backward_model)
```

```
Residual standard error: 39.76 on 6 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.9791, Adjusted R-squared: 0.795
F-statistic: 5.316 on 53 and 6 DF, p-value: 0.02111
```

پس از برازش مدل کامل و اجرای روش حذف پس‌رو، مدلی حاصل شد که شاخص‌های برازش آن به شرح زیر است:

خطای استاندارد باقی‌مانده‌ها^{۱۲} برابر با ۳۹.۷۶ و با ۶ درجه آزادی به دست آمد. این مقدار نشان می‌دهد که اختلاف میان مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر واقعی متغیر وابسته (زمان واکنش (PVT) به طور متوسط در حدود ۴۰ واحد است که با توجه به ماهیت و مقیاس متغیر وابسته، قابل قبول ارزیابی می‌شود.

ضریب تعیین مدل ($R^2 = 0.9791$) بیانگر آن است که حدود ۹۷.۹ درصد از واریانس متغیر وابسته توسط متغیرهای باقی‌مانده در مدل و اثرات متقابل آن‌ها تبیین می‌شود. این مقدار بسیار بالا نشان‌دهنده توان تبیینی قوی مدل نهایی پس از حذف متغیرهای غیرمعنادار است.

از سوی دیگر، مقدار R^2 تعدیل‌شده ($\text{Adjusted } R^2 = 0.795$) که اثر تعداد زیاد متغیرها و پیچیدگی مدل را کنترل می‌کند، همچنان مقدار بالایی دارد. اختلاف مشاهده‌شده بین R^2 و R^2 تعدیل‌شده قابل انتظار است، زیرا مدل شامل اثرات متقابل مرتبه بالا بوده و حجم نمونه محدود است؛ با این حال، مقدار R^2 تعدیل‌شده نشان می‌دهد که مدل حتی پس از جریمه پیچیدگی نیز برازش مناسبی دارد.

آزمون کلی معناداری مدل نیز نشان داد که مقدار آماره $F = 5.316$ با درجات آزادی (۵۳ و ۶) و $p\text{-value} = 0.021$ از نظر آماری معنادار است. بنابراین، فرض صفر مبنی بر عدم معناداری کلی مدل رد می‌شود و می‌توان

¹¹ Backward Elimination

¹² Residual Standard Error

نتیجه گرفت که مدل نهایی حاصل از روش پس رو به‌طور کلی معنادار بوده و حداقل یکی از اثرات اصلی یا متقابل نقش معناداری در تبیین متغیر وابسته دارد.

در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش پس رو منجر به دستیابی به مدلی شده است که ضمن کاهش پیچیدگی، از برازش قوی، توان تبیینی بالا و معناداری کلی مناسب برخوردار بوده و می‌تواند به‌عنوان مدل نهایی پژوهش مورد استفاده قرار گیرد.

پس از اجرای روش پس رو، مدل نهایی با وجود کاهش تعداد پارامترها همچنان از برازش قوی و معناداری کلی برخوردار است و بخش عمده واریانس زمان واکنش را تبیین می‌کند.

حذف اثرات غیر معنی دار

```
coef_table <- summary(final_model)$coefficients
coef_table
significant_effects <- coef_table[coef_table[, "Pr(>|t|)"] < 0.05, ]
significant_effects
nonsignificant_effects <- coef_table[coef_table[, "Pr(>|t|)"] >= 0.05, ]
nonsignificant_effects
rownames(significant_effects)
```

```
> rownames(significant_effects)
[1] "(Intercept)"
[2] "Sleep_Hours"
[3] "N_Back_Accuracy"
[4] "Stroop_Task_Reaction_Time"
[5] "GenderMale"
[6] "Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score"
[7] "Sleep_Hours:N_Back_Accuracy"
[8] "Sleep_Hours:Stroop_Task_Reaction_Time"
[9] "Sleep_Quality_Score:Stroop_Task_Reaction_Time"
[10] "Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time"
[11] "N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time"
[12] "Sleep_Hours:GenderMale"
[13] "Sleep_Quality_Score:GenderMale"
[14] "Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy"
[15] "Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:Stroop_Task_Reaction_Time"
[16] "Sleep_Quality_Score:Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time"
[17] "Sleep_Hours:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time"
[18] "Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time"
[19] "Stress_Level:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time"
[20] "Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:GenderMale"
[21] "Sleep_Quality_Score:Stress_Level:GenderMale"
[22] "Sleep_Hours:N_Back_Accuracy:GenderMale"
[23] "Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:GenderMale"
[24] "Sleep_Hours:Stroop_Task_Reaction_Time:GenderMale"
[25] "Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time:GenderMale"
[26] "Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time"
[27] "Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time"
[28] "Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time"
[29] "Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:GenderMale"
[30] "Sleep_Hours:Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time:GenderMale"
[31] "Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time"
```

پس از اجرای روش پس رو، ضرایب مدل بررسی شدند و تنها اثرات اصلی و متقابل با مقدار p کمتر از 0.05 در مدل نهایی حفظ شدند. سایر اثرات که از نظر آماری معنادار نبودند، از مدل حذف شدند.

پس از برآزش مدل کامل شامل اثرات اصلی و متقابل مرتبه بالا، به منظور دستیابی به مدلی پایدارتر و قابل تفسیر، از روش حذف پس رو استفاده شد. در این مرحله، اثرات بر اساس مقدار سطح معنی داری^{۱۳} مورد بررسی قرار گرفتند؛ به طوری که اثرات فاقد معناداری آماری ($p \geq 0.05$) به تدریج از مدل حذف شدند. این حذف به دلیل عدم وجود شواهد آماری کافی برای نقش آن‌ها در تبیین متغیر وابسته انجام شد. در مقابل، اثرات اصلی و متقابل دارای سطح معنی داری کمتر از 0.05 که نشان‌دهنده نقش معنادار آن‌ها در تبیین تغییرات زمان واکنش بودند،

¹³ p-value

در مدل نهایی حفظ شدند. بدین ترتیب، مدل نهایی ضمن حفظ ساختار ضربی و اثرات متقابل معنادار، از پیچیدگی غیرضروری کاسته و به مدلی پایدار و مناسب برای تفسیر آماری دست یافت.

مدل نهایی پس از حذف اثرات غیرمعمادار

```
final_terms_fixed <- gsub("GenderMale", "Gender", final_terms)
final_terms_fixed
final_formula <- as.formula(
  paste("PVT_Reaction_Time ~",
        paste(final_terms_fixed[-1], collapse = " + "))
)

final_model_clean <- lm(final_formula, data = data)
summary(final_model_clean)
```

```
Residual standard error: 85.01 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.5393, Adjusted R-squared: 0.06263
F-statistic: 1.131 on 30 and 29 DF, p-value: 0.3707
```

پس از حذف اثرات غیرمعمادار بر اساس روش حذف پس رو و برازش مجدد مدل، شاخص‌های برازش مدل مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مقدار ضریب تعیین مدل کاهش یافته است که این امر در فرآیند ساده‌سازی مدل کاملاً قابل انتظار است. کاهش ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل‌شده بیانگر آن است که بخشی از واریانس تبیین‌شده در مدل کامل، ناشی از اثرات غیرمعمادار و پیچیدگی بیش از حد مدل بوده است. با این حال، مدل حاصل از این مرحله از نظر ساختاری ساده‌تر، پایدارتر و از نظر تفسیری قابل اتکاتر است. بدین ترتیب، این مرحله منجر به حذف بیش‌برازش و دستیابی به مدلی پارسی‌موم شد که صرفاً شامل اثرات دارای شواهد آماری قوی‌تر است، هرچند با کاهش طبیعی در شاخص‌های برازش همراه بوده است.

مدلسازی

ابتدا یک مدل با تمام متغیرهای رگرسیونی بدون اثر متقابل وارد مدل کردیم. به علت کم بودن مشاهدات مقدار r^2 تعدیل یافته مقدار بسیار کمی بود و نشان از عدم رابطه بین متغیر هدف و متغیرهای توضیحی بود. سناریوهای مختلفی انجام دادیم. ابتدا مهمترین متغیر توضیحی را انتخاب و با الگوریتم فوروارد به یک مدل رسیدیم. الگوریتم بکوارد و قدم به قدم هم استفاده کردیم. در نهایت اثرات متقابل را وارد مدل کردیم و شروع به ساخت مدلی کردیم که تمام اثرات معنی دار و مقدار r^2 تعدیل یافته مقدار مناسبی شود. این مدل فرضیات رگرسیونی برای آن برقرار نبود. همخطی بین متغیرهای توضیحی، نرمال نبودن باقیمانده ها و عدم ثبات واریانس. با حذف متغیرهایی با هم خطی بالا و متغیرهای بی تاثیر به دنبال مدلی با کمترین متغیرهای توضیحی و حداکثر r^2 تعدیل یافته ی مناسب و برقرار بودن فرضیات رگرسیونی بودیم. البته با توجه به تعداد مشاهدات این تعداد متغیر توضیحی زیاد بود ولی کم ایراد ترین مدل بود که بیشتر برای هدف پیش بینی مناسب است به جای استنباط.

```
a=lm(formula = PVT_Reaction_Time ~ Sleep_Hours +
      Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score +
      Sleep_Hours:Stress_Level +
      Sleep_Hours:N_Back_Accuracy +
      Stress_Level:N_Back_Accuracy +
      Sleep_Hours:Stroop_Task_Reaction_Time +
      Sleep_Hours:Stress_Level:N_Back_Accuracy +
      Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy +
      Sleep_Quality_Score:Stress_Level:Gender +
      Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time:Gender +
      Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time +
      Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time +
      Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:Gender +
      Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy:Gender,
      data = data)
summary(a)
vif(a)
shapiro.test(residuals(a))
plot(a)
qqnorm(residuals(a))
qqline(residuals(a), col = "red", lwd = 2)
library(lmtest)
dwtest(a)
```

	Estimate	Std. Error	t value
(Intercept)	2.888e+02	6.697e+01	4.313
Sleep_Hours	-1.046e+02	3.074e+01	-3.402
Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score	4.154e+00	1.801e+00	2.307
Sleep_Hours:Stress_Level	5.083e+00	1.207e+00	4.210
Sleep_Hours:N_Back_Accuracy	5.606e-01	2.477e-01	2.263
Stress_Level:N_Back_Accuracy	3.295e-01	7.343e-02	4.487
Sleep_Hours:Stroop_Task_Reaction_Time	2.460e+01	5.130e+00	4.795
Sleep_Hours:Stress_Level:N_Back_Accuracy	-8.249e-02	1.779e-02	-4.636
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy	-2.152e-02	6.903e-03	-3.118
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:GenderMale	-1.468e+00	5.714e-01	-2.570
Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time:GenderFemale	-5.282e+00	1.374e+00	-3.845
Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time:GenderMale	-6.913e+00	1.523e+00	-4.541
Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time	-2.444e-02	7.378e-03	-3.313
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time	6.634e-03	2.117e-03	3.133
Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:GenderMale	1.716e-02	9.639e-03	1.780
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy:GenderMale	2.226e-02	8.574e-03	2.596

	Pr(> t)
(Intercept)	8.96e-05 ***
Sleep_Hours	0.001435 **
Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score	0.025843 *
Sleep_Hours:Stress_Level	0.000124 ***
Sleep_Hours:N_Back_Accuracy	0.028616 *
Stress_Level:N_Back_Accuracy	5.13e-05 ***
Sleep_Hours:Stroop_Task_Reaction_Time	1.89e-05 ***
Sleep_Hours:Stress_Level:N_Back_Accuracy	3.18e-05 ***
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy	0.003209 **
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:GenderMale	0.013643 *
Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time:GenderFemale	0.000384 ***
Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time:GenderMale	4.32e-05 ***
Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time	0.001854 **
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time	0.003073 **
Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:GenderMale	0.081944 .
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy:GenderMale	0.012777 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 70.44 on 44 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.52, Adjusted R-squared: 0.3564
F-statistic: 3.178 on 15 and 44 DF, p-value: 0.001426

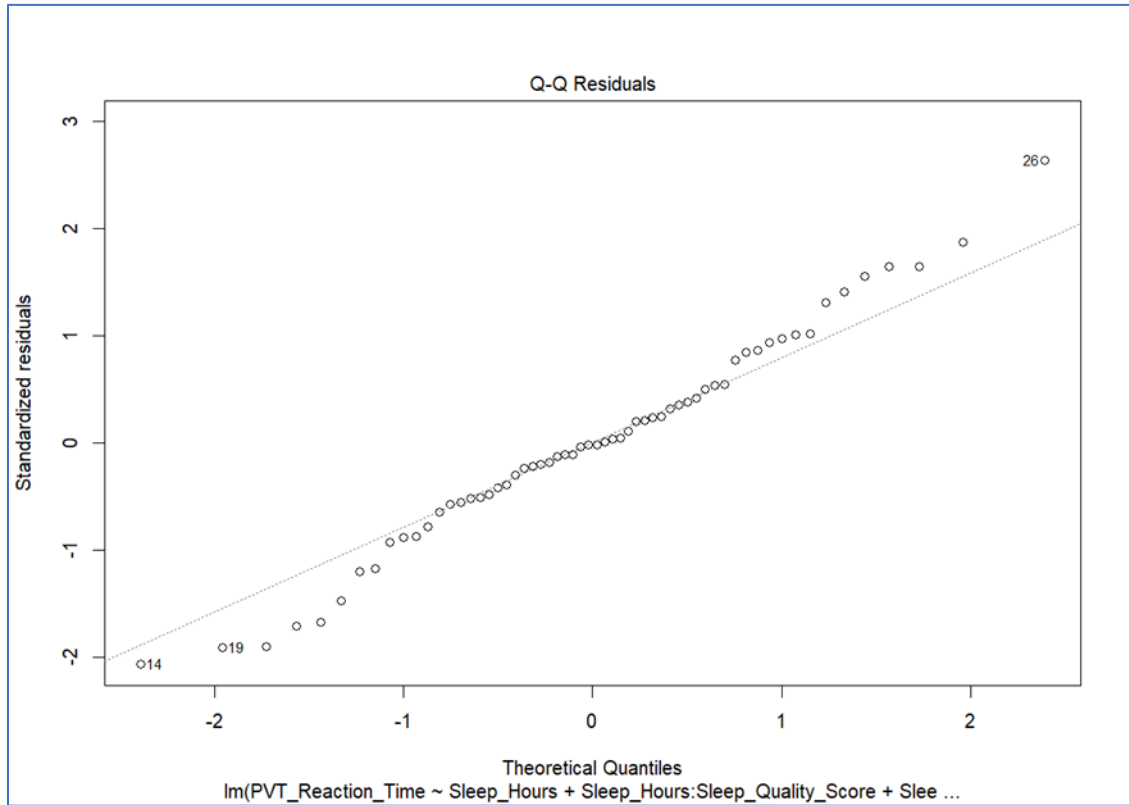
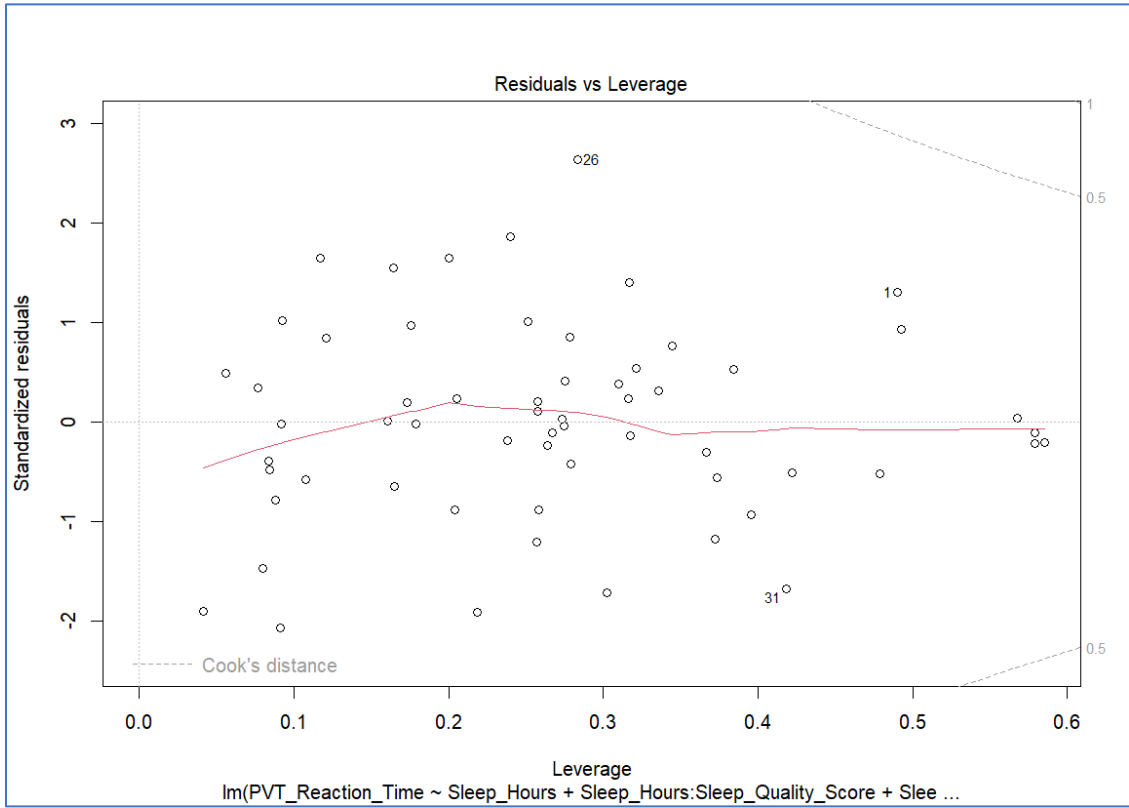
```
> vif(a)
```

	GVIF	Df	GVIF^(1/(2*Df))
Sleep_Hours	37.738794	1	6.143191
Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score	56.111632	1	7.490770
Sleep_Hours:Stress_Level	99.910120	1	9.995505
Sleep_Hours:N_Back_Accuracy	16.255599	1	4.031823
Stress_Level:N_Back_Accuracy	46.016291	1	6.783531
Sleep_Hours:Stroop_Task_Reaction_Time	19.161467	1	4.377381
Sleep_Hours:Stress_Level:N_Back_Accuracy	112.616616	1	10.612098
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy	76.037466	1	8.719946
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:Gender	74.114247	1	8.608963
Stress_Level:Stroop_Task_Reaction_Time:Gender	139.292730	2	3.435438
Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time	64.876831	1	8.054616
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy:Stroop_Task_Reaction_Time	76.233846	1	8.731200
Sleep_Hours:Sleep_Quality_Score:N_Back_Accuracy:Gender	9.633427	1	3.103776
Sleep_Quality_Score:Stress_Level:N_Back_Accuracy:Gender	89.539001	1	9.462505

```
> shapiro.test(residuals(a))
```

Shapiro-wilk normality test

data: residuals(a)
W = 0.98759, p-value = 0.8018



بررسی استقلال باقی مانده ها

```
library(lmtest)
dwtest(final_model)
```

```
Durbin-Watson test
data: final_model
DW = 1.9003, p-value = 0.2431
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

به منظور بررسی فرض استقلال باقی مانده ها، از آزمون دوربین-واتسون^{۱۴} استفاده شد. مقدار آماره دوربین-واتسون برابر با ۱.۹۰ و مقدار p-value برابر با ۰.۲۴۳ به دست آمد. با توجه به این که مقدار آماره به عدد ۲ نزدیک بوده و مقدار p-value بزرگتر از ۰.۰۵ است، شواهدی دال بر وجود خودهمبستگی مثبت در باقی مانده ها مشاهده نشد. بنابراین، فرض استقلال خطاها در مدل نهایی برقرار می باشد.

¹⁴ Durbin-Watson

روند انجام تحلیل آماری

در ابتدای تحلیل، مدل رگرسیونی با وارد کردن تنها اثرات اصلی متغیرها برازش داده شد. با این حال، مقدار ضریب تعیین تعدیل شده در این مرحله بسیار پایین بود که نشان می‌داد مدل قادر به تبیین مناسبی از واریانس متغیر وابسته نیست. به همین دلیل و با توجه به ماهیت داده‌ها، اثرات متقابل بین متغیرها نیز به مدل اضافه شدند تا روابط پیچیده‌تر میان متغیرها در نظر گرفته شود.

در ادامه، مدلی شامل تمامی اثرات اصلی و اثرات متقابل ممکن برازش داده شد که از آن به عنوان مدل کامل یاد می‌شود. پس از برازش این مدل، فرضیات رگرسیون شامل نرمال بودن باقی‌مانده‌ها و سایر فروض کلاسیک بررسی شد.

به منظور ساده‌سازی مدل و حذف متغیرهای غیرمعنی‌دار، از روش انتخاب متغیر به صورت روش پس رو استفاده شد. اگرچه این روش منجر به حذف تعدادی از اثرات غیرمعنی‌دار گردید، اما کاهش قابل توجهی در مقدار ضریب تعیین تعدیل شده مشاهده شد؛ به طوری که مدل حاصل از روش پس رو از نظر قدرت تبیین، عملکرد مطلوبی نداشت.

در مرحله بعد، با رویکردی نظری-تجربی، برخی از اثرات متقابل غیرمعنی‌دار به صورت دستی حذف شدند. این کار منجر به دستیابی به مدلی با تعداد متغیرهای کمتر و در عین حال مقدار ضریب تعیین تعدیل شده بالاتر نسبت به مدل پس رو شد. با این وجود، به دلیل باقی‌ماندن تعداد قابل توجهی از اثرات متقابل، مدل نهایی از نظر ساختاری پیچیده بوده و بیشتر برای توصیف الگوهای موجود در داده‌ها مناسب است تا استنباط دقیق پارامترها.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری نهایی

به طور کلی، نتایج نشان داد که در میان متغیرهای مورد بررسی، جنسیت نقش برجسته و معناداری در تبیین زمان واکنش دارد؛ به طوری که هم به صورت اثر اصلی و هم در تعامل با سایر متغیرها، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مدل نهایی محسوب می‌شود. در مقابل، برخی متغیرها و اثرات متقابل آن‌ها علی‌رغم حضور در مدل کامل، تأثیر معناداری بر متغیر وابسته نداشتند و حذف آن‌ها منجر به بهبود نسبی کارایی مدل شد.

بنابراین، مهم‌ترین یافته این مطالعه تأکید بر اهمیت جنسیت در کنار برخی تعامل‌های شناختی و رفتاری در پیش‌بینی زمان واکنش است، در حالی که برخی متغیرها به تنهایی نقش تعیین‌کننده‌ای در مدل نهایی ایفا نکردند.