

تحلیل عاملی: دشواری‌ها و تنگناهای آن

حیدرعلی هومن

دانشگاه آزاداسلامی، واحد تهران

علی حسگری

دانشجوی دکتری روان‌شناسی تربیتی، دانشگاه تهران

چکیده

تحلیل عاملی یکی از فنون پیشرفته آمار چند متغیری است که در جهت دستیابی به بسیاری از هدفهای علمی و پژوهشی مانند مدل‌سازی، فرضیه‌سازی، رواسازی تست‌ها، تشخیص پایه تست‌ها، و فراهم ساختن زمینه اجرای سایر روشهای پیشرفته آماری مانند رگرسیون چند متغیری و معادلات ساختاری به کار می‌رود. اما پیچیدگی و دشواری درک، اجرا و تفسیر نتایج تحلیل عاملی موجب شده است بسیاری از کاربران بدون آشنایی با منطقی زیربنایی، محدودیتها و نیز دامنه کاربرد آن، به اجرا و بکارگیری یافته‌های حاصل از آن بپردازند و بدین ترتیب زمینه‌ساز تفسیرهای نامعتبر و ناروا و نیز تعمیم‌های نادرست از پدیده‌ها و متغیرهای مورد مطالعه گردند. این مقاله سعی دارد علاوه بر تشریح تاریخی، هدفها و زیربنای نظری، منطقی و تا حدودی نیز پایه‌های ریاضی این تکنیک، محدودیتها و مسائل و مشکلات عمده تحلیل عاملی را نیز خاطر نشان سازد. از دگرسو، به دلیل تمایل فزاینده به اجرای این روش بویژه در مراکز علمی، آموزشی و پژوهشی کشور تلاش شده است توصیه‌هایی به منظور فراهم آوردن زمینه مناسب برای کسانی که مایل به یادگیری و اجرای تحلیل عاملی هستند و یا آنهایی که سالهای منمادی در پژوهشهای خود از این روش استفاده کرده‌اند، ارائه گردد.

کلید واژه‌ها: تحلیل عاملی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، اکتشافی، تأییدی. مقیاس چند بعدی، رگرسیون چند متغیری، معادلات ساختاری، رواسازی تست

مقدمه

تحلیل عاملی با آنکه نخستین بار در اوایل قرن بیستم توسط اسپیرمن^۱ (۱۹۰۴) توسعه یافت، اساساً تا وقتی رایانه و نرم‌افزارهای آماری پیشرفت نکرده بود بسیاری از پژوهشگران نمی‌توانستند به اجرا و تفسیر آن بپردازند (تامپسون و دیننگز^۲، ۱۹۹۳). این روش شامل فنون تحلیلی متعددی است که هدف آنها بررسی یا تلمیخ روابط بین متغیرها یا سایر پدیده‌های عامل‌پذیر است (کار^۳، ۱۹۹۲ و گورسوخ^۴، ۱۹۸۳). به بیان کرلینگر^۵ (۱۹۸۶، ص ۵۶۹):

تحلیل عاملی بواقع عامل اصلی صرفه جویی علمی است. این تکنیک موجب کاهش چندگانگی نسط‌ها و اندازه‌ها و سادگی هرچه بیشتر آنها می‌شود. بواقع به ما می‌گوید که نسط‌ها و اندازه‌ها چه تعلق به یکدیگر دارند... از این روه تعداد متغیرها را به گونه‌ای کاهش می‌دهد که دانشمندان بتوانند بر آن غلبه کنند.

اما اگر تنها یک روش آماری دارای تاریخچه‌ای رنج‌آور باشد، همان روش تحلیل عاملی است. در دهه ۱۹۵۰، شهرت تحلیل عاملی به دلیل ارتقای بیش از حدی که توسط تنی چند از پژوهشگران بسیار مشتاق در آن ایجاد شده بود، خدشه‌دار گردید. بازنگری این تاریخچه نشان می‌دهد که در روش برخی کسانی که آن موقع درباره تحلیل عاملی فکر می‌کردند سه موضوع نادرست وجود داشته است: نخست آنکه به نظر می‌رسد برخی به تحلیل عاملی به عنوان یک روش شناخته شده و فراگیر و نه یک روش صرفاً آماری نگاه می‌کردند؛ دوم آنکه تفکر آنها به مسائل و مشکلات در قالب اصطلاحات مطلق قرار داشت، در حالی که رویکرد اکتشافی برای آنها مناسب‌تر بوده است، و سوم آنکه آنان به مجموعه بسیار گسترده‌ای از متغیرها فکر می‌کردند. برای

1. Spearman

2. Thompson and Dennings

3. Carr

4. Gorsuch

5. Kerlinger

نمونه می‌خواهیم همه شخصیت انسان را بشناسیم نه اینکه بخواهیم ماهیت کنجکاوی را بشناسیم. بنابراین، برپایه این سه روش متفاوت، تلاش می‌کردند تحلیل عاملی را بیش از آنچه قابلیت پیشرفت داشته باشد گسترش دهند. اما به نظر می‌رسد که در دهه‌های اخیر تحلیل عاملی به عنوان خانواده‌ای از روش‌ها که برای برخی هدف‌های محدود و خاص مفید است، جایگاه موجه خود را باز یافته باشد.

هدف تحلیل عاملی (شناخت علت‌ها)

بسیاری از روش‌های آماری روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته را بررسی می‌کنند، اما تحلیل عاملی با آنها تفاوت دارد. این روش برای مطالعه الگوی روابط میان تعداد زیادی متغیر وابسته به کار می‌رود، و هدف آن کشف چیزی درباره ماهیت متغیرهای مستقلی است که بر آنها تأثیر می‌گذارد، حتی اگر این متغیرها هرگز به گونه مستقلی اندازه‌گیری نشده باشد. از این رو، نتایجی که از طریق تحلیل عاملی به دست می‌آید در مقایسه با واقعیتی که از مشاهده مستقیم متغیرهای مستقل حاصل می‌شود، موقتی‌تر و نظری است. متغیرهای مستقلی که از این طریق استنباط می‌شود عامل^۱ نام دارد.

تحلیل عاملی می‌تواند به چهار پرسش عمده پاسخ دهد.

۱. برای تبیین الگوی روابط بین متغیرها به چند عامل مختلف نیاز است؟

۲. ماهیت این عوامل چیست؟

۳. عامل‌های نظری چگونه می‌توانند داده‌های مشاهده‌شده را تبیین کنند؟

۴- چه مقدار از واریانس هر متغیر مشاهده‌شده اساساً تصادفی یا یگانه است؟

بنابراین، هدف تحلیل عاملی کشف ساده‌ترین الگو از میان الگوهای مربوط به روابط میان متغیرهاست. این روش به دنبال درک این مطلب است که آیا متغیرهای مشاهده‌شده را می‌توان برپایه تعداد کمتری متغیر (عامل) به گونه وسیع و اساسی تبیین کرد. از این رو، هدف‌های عمده تحلیل عاملی را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۱. کاهش تعداد زیادی متغیر به تعداد کمتری عامل به منظور مدل سازی. زیرا اگر تعداد متغیرها زیاد باشد، مدل سازی برای همه اندازه‌ها به گونه انفرادی امکان پذیر نیست. به همین دلیل، تحلیل عاملی با مدل سازی‌های مربوط به تکنیک معادلات ساختاری یکپارچه شده و به تولید متغیرهای مکنون^۱ که از طریق مدل سازی معادله ساختاری به وجود می آید، کمک می کند. با وجود این، تحلیل عاملی را می توان به عنوان نوعی تکنیک متکی به خود برای هدف‌های مشابه نیز به کاربرد.

۲. گزینش یک پاره تست از مجموعه زیادی سؤال که دارای بیشترین همبستگی با مؤلفه‌های اصلی باشد.

۳. تولید مجموعه‌ای از عوامل به عنوان متغیرهای ناهمبسته به گونه‌ای که با اصطلاح همخطی بودن چندگانه^۲ در روش رگرسیون چندمتغیری نزدیک باشد.

۴. رواسازی یک مقیاس یا شاخص از طریق تعیین بار مواد سازنده مقیاس بر روی عامل‌های استخراج شده.

۵. تهیه تست‌های چندگانه‌ای که تنها یک عامل را بسنجد و اجرای تست‌های کمتری را ممکن سازد.

۶. تعیین خوشه‌هایی از آزمودنی‌ها.

۷. تعیین گروه‌ها از طریق مشخص کردن مجموعه افرادی که در یک خوشه قرار دارند.

چند نمونه از مشکلات تحلیل عاملی

۱. چنانکه پیش‌تر بیان شد تحلیل عاملی نزدیک به صد سال پیش توسط روان‌شناس بزرگ چارلز اسپرمن ابداع شد. برپایه فرضیه اسپرمن انواع بی شماری از تست‌های توانایی ذهنی (مانند مهارت‌های ریاضی، واژه‌شناسی و سایر مهارت‌های کلامی، مهارت‌های هنری، و توانایی استدلال منطقی) را می توان از طریق یکی از عوامل زیربنایی

هوش کلی، که وی آن را g نامید، تبیین کرد. به اعتقاد وی، چنانچه بتوان عامل g را اندازه‌گیری و زیرجامه‌ای از افراد با نمره g یکسان را انتخاب کرد، در این صورت میان تست‌های توانایی ذهنی هیچ‌گونه همبستگی پیدانخواهد شد. به بیان دیگر، از نظر اسپیرمن، عامل g تنها عامل مشترک همه این اندازه‌هاست.

هرچند نظریه اسپیرمن بسیار جالب بود، اما نادرست بودن آن نیز نشان داده شده است. در حال حاضر، مرکز خدمات تستی شورای دانشگاه‌ها^۱ در ایالات متحده برپایه این اندیشه که دست‌کم سه عامل مهم توانایی ذهنی (یعنی توانایی‌های کلامی، کمی، و تحلیل منطقی) وجود دارد، نظام جدیدی ابداع و اجرا کرده است. از دگرسو، اغلب روان‌شناسان با این مطلب موافقتند که عامل‌های دیگری را نیز می‌توان به دست آورد.

۲. اندازه‌های مختلفی از فعالیت سیستم عصبی خود مختار مانند ضربان قلب، فشارخون و از این قبیل را در نظر بگیرید. روان‌شناسان مایلند بدانند که: آیا همه این اندازه‌ها، ورای نوسان‌های تصادفی، با یکدیگر افزایش یا کاهش می‌یابند (فرضیه برانگیختگی^۲)، آیا گروهی از اندازه‌های خودمختار جدا از سایر گروه‌ها با یکدیگر افزایش یا کاهش پیدا می‌کنند، یا اینکه همه اندازه‌ها تا حد زیادی مستقل از یکدیگرند؟

۳. فرض کنید همه افراد یک گروه ۵۰۰ نفری که با انواع مختلف اتومبیل آشنایی دارند، دربارهٔ ۲۰ نوع اتومبیل با این پرسش روبه‌رو هستند که «برای خرید اتومبیل چقدر پول می‌خواهید بپردازید؟» ما می‌توانیم درباره تعداد ابعادی که قیمت اتومبیل‌ها برپایه آنها تفاوت می‌کند، سؤال‌های مفیدی پرسیم. در تئوری تک عاملی فرض بر آن است که افراد بیشترین مبلغ را برای گران‌ترین مدل می‌پردازند. در تئوری دو عاملی فرض می‌شود که برخی افراد، مدل‌های اسپرت، و برخی دیگر مدل‌های لوکس را ترجیح می‌دهند. اما تئوری سه و چهار عاملی ممکن است ابعاد ایمنی و اعتبار را نیز اضافه کند. به هر حال، به جای اتومبیل می‌توان نگرش به موضوع‌های اجتماعی، خط‌مشی‌های سیاسی، نامزدهای انتخابات، یا بسیاری از موضوع‌های دیگر را مطالعه کرد.

۴. روبنشتاین^۱ (۱۹۸۶) از طریق تحلیل مجموعه وسیعی از عبارات‌ها مانند «دوست دارم از کسار ماشین آلات سر در بیاورم» یا «دوست دارم انواع جدید غذاها را آزمایش کنم»، که در مورد دانش‌آموزان سال آخر دبیرستان اجرا شده بود، ماهیت کنجکاوی را مورد مطالعه قرار داد. وی در تحلیل عاملی، هفت عامل را استخراج کرد؛ سه عامل به اندازه‌گیری لذت حل مسئله، یادگیری و خواندن؛ سه عامل به اندازه‌گیری علاقه به علوم طبیعی هنر و موسیقی و به‌گونه کلی تجربه‌های جدید؛ و یک عامل نیز به علاقه نسبتاً کم به پول ارتباط داشت.

از دگرسو، وقتی تحلیل عاملی خطی برای داده‌های چندارزشی (مانند داده‌های طبقه‌ای مرتب‌شده^۲) به کار می‌رود نتایج تورش‌داری^۳ به دست می‌دهد (والر^۴، ۲۰۰۰). با وجود این، بسیاری از دانشمندان علوم اجتماعی و رفتاری همچنان برای تحلیل عاملی از ضریب فای (مانند ضریب همبستگی پیرسون برای داده‌های دوارزشی) یا ضریب پیرسون برای داده‌های مقیاس لیکرت استفاده می‌کنند. زیرا نرم‌افزارها و برنامه‌های رایانه‌ای مناسب برای تحلیل عاملی داده‌های طبقه‌ای: ۱) به ندرت در دسترس قرار دارد؛ ۲) محدود به تحلیل عاملی تأییدی و نه اکتشافی است، و ۳) محدود به داده‌های دوارزشی است.

وجود محدودیت‌های بالا موجب شده است برای پژوهشگرانی که با داده‌های طبقه‌ای مرتب‌شده سروکار دارند، چالش‌های روش‌شناختی متعددی ایجاد شود. برای نمونه، اغلب تست‌های تشخیصی، بالینی، و تربیتی به‌گونه درست یا نادرست موافق یا مخالف، بلی یا نه و در سطح مقیاس‌های چندارزشی، مانند کاملاً مخالف، مخالف، بی‌تفاوت، موافق و کاملاً موافق، نمره‌گذاری می‌شود. علاوه بر این، در تعلیم و تربیت، سؤالهای سنجش توانایی و پیشرفت نیز اغلب به‌گونه درست-نادرست نمره‌گذاری می‌شود. از سوی دیگر در علوم سیاسی، آراء مردم در همه‌پرسی‌ها به‌گونه

1- Robenstein

2. ordered categorical data

3. biased

4. Waller

بلی یا نه و در پژوهش های بازرگانی مواردی مانند کیفیت تولید اغلب برپایه خشنودی یا ناخشنودی مشتریان ارزیابی می شود.

به رغم مشکلاتی که در بالا به آنها اشاره شد، پژوهشگران رشته های مختلف هنوز برای محاسبه همبستگی و تحلیل عاملی سؤال هایی که به گونه چندارزشی نمره گذاری شده از بسته بندی نرم افزارهای SPSS & SAS & BMDP و مانند آن استفاده می کنند، درحالی که این نرم افزارها فقط می تواند برای داده هایی که به گونه پیوسته اندازه گیری شده است تحلیل عاملی انجام دهد. به همین دلیل، هنگام استفاده از داده های چند ارزشی نتایج آنها کاملاً تورش دار و ناقص است (والر، ۲۰۰۰).

مدل تحلیل عاملی خطی، ساختار زیربنایی داده های دوارزشی را دست کم به سه دلیل تحریف می کند: نخست آنکه ضرایب پیرسون (مانند ضرایب فای) که برای داده های دو دویی^۱ به کار می رود، تحت تأثیر شکل توزیع و نیز محتوای سؤال است، به گونه ای که حتی اگر دو سؤال کاملاً معتبر صفت یکسانی را اندازه گیری کنند، چنانچه فراوانیهای متفاوتی داشته باشند، به گونه کامل با هم همبستگی نخواهند داشت (کارول^۲ ۱۹۶۱، لرد و ناویک^۳، ۱۹۶۸). دوم آنکه در مدل تحلیل عاملی مشترک فرض بر آن است که تابع خطی می تواند رگرسیون یک سؤال را بر نمره های عاملی زیربنایی، توصیف کند. برخی معتقدند که بر پایه یکی از مفروضه های این مدل، احتمال پاسخ درست بواقع تابع خطی عامل های زیربنایی است. اما این مفروضه در مورد داده های دودویی صادق نیست. احتمال همیشه بین صفر و یک است. اما افرادی که نمره های عاملی بسیار پایین یا بسیار بالا دارند، در مدل خطی می توانند احتمال کمتر از صفر یا بیشتر از یک داشته باشند. سوم آنکه چندبعدی بودن ماتریس ضرایب فای ممکن است با چندبعدی بودن متغیرهای پیوسته زیربنایی تفاوت داشته باشند (برنشتاین و تنگ، ۱۹۸۹،

1. binary

2. Carrol

3. Lord & Novick

هامبلتون و راوینلی^۱، ۱۹۸۶، نقل از والر، ۲۰۰۰)، زیرا شکل رگرسیون یک متغیر دو ارزشی مشاهده‌شده بر روی عامل زیربنایی اغلب غیرخطی است. مکدونالد و آهلاوت^۲ (۱۹۷۴) نشان‌داده‌اند که وقتی شکل رگرسیون‌های سؤال-عامل غیرخطی به‌گونه قابل توجهی در همه سؤال‌ها تفاوت داشته باشد، مدل تحلیل عاملی خطی عامل‌های کاذب^۳ تولید می‌کند. در گذشته این عامل‌های غیرواقعی را به دشواری‌های غیریکنواخت سؤال نسبت می‌دادند و به آن عامل‌های دشوار می‌گفتند (فرگوسن^۴، ۱۹۴۱، نقل از والر، ۲۰۰۰). از این‌رو، به منظور پرهیز از برجسب «دشوار» به این‌گونه عامل‌ها، روان‌سنجی روش‌های متعددی را برای تبیین ساختار در ماتریس داده‌های دوارزشی توسعه داده است. در اینجا تنها به ذکر عناوین آنها اکتفا می‌شود:

۱. تحلیل عاملی خطی همبستگی تراکوریک

۲. تحلیل عاملی مجذورات تعمیم‌یافته همبستگی‌های تراکوریک

۳. تحلیل عاملی سؤال با اطلاعات کامل^۵

از دگرسو، مشکلات تحلیل عاملی تنها به موارد بالا محدود نمی‌شود. بسیاری از پژوهشگرانی که برای تحلیل داده‌های پژوهشی خود از تحلیل عاملی استفاده می‌کنند در تشخیص و برازش روش‌های مختلف آن با داده‌های خود دچار اشتباه می‌شوند. برای نمونه بنا بر گزارش فابریگار^۶ و دیگران (۱۹۹۹)، در حدود نیمی از مقاله‌هایی که بین سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۵ در مجله‌های شخصیت، روان‌شناسی اجتماعی، و نیز مجله روان‌شناسی کاربردی منتشر شده است، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی به کار رفته، به‌رغم این واقعیت که هدف اساسی آنها تشخیص متغیرهای مکنون بوده و باید از روش تحلیل عاملی استفاده می‌شده است. در این مقاله‌ها اغلب ضرایب اعتبار متغیرها، و نه میزان اشتراک آنها (که بسیار اطلاع‌دهنده‌تر است) گزارش شده و معمولاً روشی که برای

1. Hamblton & Rovinelli

2. McDonald & Ahlswet

3. spurious factor

4. Ferguson

5. full information

6. Fabrigar

تعیین تعداد عامل‌ها به کار رفته است بیان نمی‌شود. علاوه بر این، در اغلب این گزارش‌ها از قاعده ارزش ویژه بزرگتر از $1/10$ و نیز روش واریانس استفاده شده است. وقتی فابریگار و دیگران (۱۹۹۹) از آنها خواستند یک نسخه از داده‌های خود را برای آنان ارسال کنند تا درباره این مطلب تحقیق کنند که آیا به‌جز آنچه آنها به کار برده‌اند، راه‌حل دیگری نیز می‌توان تعیین کرد، بیشتر پژوهشگران از ارسال داده‌ها خودداری کردند. برای آنهایی که داده‌های خود را فرستادند، فابریگار و دیگران، به این نتیجه رسیدند که چرخش متمایل اغلب ساختار ساده نسبتاً بهتری را نسبت به چرخش واریانس تولید می‌کند، درحالی‌که الگوی بارهای عاملی تقریباً همیشه برای چرخش متمایل و واریانس یکسان بوده است.

اما، چرا اکثر پژوهشگران تحلیل مؤلفه‌های اصلی را انتخاب می‌کنند، چرا تعداد عامل‌ها را برابر با عامل‌های دارای ارزش ویژه بزرگتر از $1/10$ قرار می‌دهند، و سرانجام چرا بیشتر چرخش واریانس رابه کار می‌برند؟ به اعتقاد بسیاری از صاحب‌نظران شاید فقط دلیل اصلی این باشد که موارد بالا پیش‌گزیده تحلیل عاملی در SPSS است. بدون تردید، هنگام استفاده از این نرم‌افزار، همه می‌توانند به راحتی داده‌های خود را وارد کرده و گزینه تحلیل عاملی را کلیک‌کنند، بدون آنکه مجبور باشند چیزی درباره تحلیل عاملی بدانند یا بفهمند.

کاربرد اکتشافی در برابر کاربرد مطلق تحلیل عاملی

روش اکتشافی^۱ شیوه‌ای برای تفکر درباره یک موضوع ساده است، حتی اگر به‌گونه قطعی درست نباشد. برای نمونه، از روش اکتشافی وقتی استفاده می‌کنیم که موضوع طلوع و غروب خورشید را برپایه این نظر که خورشید به دور زمین می‌چرخد، بررسی کنیم، هرچند می‌دانیم این مطلب درست نیست. اکتشافی هم اسم و هم صفت است، بدین معنا که کاربرد آن، به واقع، تفکر برپایه اکتشاف است.

از دگرسو تئوری هوش ۸ اسپیرمن و نیز تئوری برانگیختگی کارکرد سیستم عصبی خودمختار را می‌توان به‌عنوان تئوری‌های مطلق^۱ در نظر گرفت، زیرا درباره‌ی الگوی روابط میان متغیرها توضیح کاملی در اختیار می‌گذارد. روبنشتاین نیز هرگز ادعا نمی‌کرد که فهرست هفت عامل وی توصیف کاملی از کنجکاوی به‌دست می‌دهد، بلکه معتقد بود صرفاً مهم‌ترین عوامل و بهترین روش برای خلاصه کردن داده‌هاست. تحلیل عاملی هر دو مدل مطلق و اکتشافی را پیشنهاد می‌کند. اما تمایز میان آنها به چگونگی تفسیر ما از برون‌داد بستگی دارد.

آیا تحلیل عاملی روش عینی است؟

مفهوم اکتشافی برای شناخت یکی از ویژگی‌های تحلیل عاملی که بسیاری از افراد را سردرگم کرده، مفید است. بسیاری از دانشمندان ممکن است تحلیل عاملی را برای مجموعه‌ای از اندازه‌های مشابه یا حتی یکسان به‌کار برند، اما نتایج مختلفی به‌دست آورند، به‌گونه‌ای که یک نفر سه عامل، دیگری شش عامل، و مؤلفان دیگر حتی تا ۱۰ عامل استخراج‌کنند. این عدم توافق نشان‌دهنده بی‌اعتباری کاربردهای تحلیل عاملی است. اما اگر یکی از سه نفر سفرنامه نویس راهنمای مسافرتی ایران را به سه حوزه، نفر دوم به ۶ حوزه و دیگری به ۱۰ حوزه تقسیم‌کند، آیا می‌توان گفت که آنها با یکدیگر تناقض دارند. البته که نه، زیرا نویسندگان مختلف برای سازماندهی یک موضوع فقط از شیوه‌های مختلفی استفاده می‌کنند. بنابراین، ادعا ندارند که روش درست انجام کار را ارائه کرده‌اند. اما اگر همه کسانی که تحلیل عاملی اجرامی کنند مدعی تئوری‌های مطلق و نه اکتشافی باشند، در این صورت نتایج مختلف آنها با یکدیگر متناقض خواهد بود. هرچه تعداد عامل‌ها کمتر باشد، تئوری ساده‌تر است و هر چه تعداد عامل‌ها بیشتر باشد، برآزش تئوری با داده‌ها بیشتر است. بنابراین، کاربران مختلف ممکن است در تعادل بین سادگی و برآزندگی، دست به انتخاب‌های گوناگونی بزنند.

در رگرسیون و تحلیل واریانس، مسئله‌ای مشابه مسئله تعادل نیز وجود دارد. اما به‌گونه‌ی کلی این مطلب مانع دستیابی کاربران مختلف به نتایج کم و بیش نزدیک و یا کاملاً یکسان نمی‌شود. با این همه اگر دو کاربر برای یک مجموعه داده از روش تحلیل واریانس استفاده کنند و هر دو به علت معنادار نبودن نتیجه در سطح 0.05 اعلام انصراف کنند، در گزارش‌های خود اثرات کاملاً یکسانی را بیان می‌کنند. اما موقعیت تحلیل عاملی بسیار متفاوت است. بنابراین دلایل بالا، در تحلیل مؤلفه‌ای، هیچ‌گونه آزمون معنادار بودن برای آزمون فرضیه در باره تعداد عامل‌ها به‌گونه‌ای که بتوان آن فرضیه را به‌صورت عادی درک کرد، وجود ندارد. در تحلیل عاملی مشترک چنین آزمونی وجود دارد، اما دارای محدودیت است، زیرا این آزمون نسبت به آنچه می‌توان به‌گونه رضایت‌بخشی تفسیر کرد، عامل‌های بیشتری را دربرمی‌گیرد. بنابراین، کاربری که قصد دارد فقط عامل‌های تفسیرپذیر را گزارش کند، هنوز آزمونی عینی در اختیار ندارد.

همین مسأله در تعیین ماهیت عامل‌ها نیز وجود دارد. فرض کنید دو کاربر مختلف هر یک ۶ عامل استخراج کرده‌اند، درحالی‌که ممکن است مجموعه عامل‌های آنان به‌گونه قابل ملاحظه‌ای با یکدیگر تفاوت داشته باشد. مثال مربوط به سفرنامه نویسا در این مورد نیز می‌تواند مفید باشد. شاید دو نفر از آنها کشور ایران را به ۶ حوزه تقسیم کنند. اما تعریف و حدود حوزه‌های آنها کاملاً متفاوت باشد.

قیاس جغرافیایی دیگری نیز وجود دارد که شاید با تحلیل عاملی همخوانی بیشتری داشته باشد. گاه برای تقسیم یک استان به حوزه‌های انتخاباتی از برنامه‌های کامپیوتری به‌گونه‌ای استفاده می‌کنند که این حوزه‌ها از لحاظ جغرافیایی مجاور یکدیگر، از لحاظ تعداد جمعیت برابر، و از لحاظ ابعاد قومی و سایر عامل‌ها همگون باشند. در این صورت نیز دو برنامه حوزه‌سازی ممکن است پاسخ‌های بسیار متفاوتی ارائه کنند اما هر دو پاسخ قابل قبول باشد. قیاس بالا از این لحاظ مفید است که برنامه‌های کامپیوتری تحلیل عاملی با آنچه برنامه‌های حوزه‌سازی انجام می‌دهند تقریباً تفاوتی ندارد.

تحلیل عاملی در برابر خوشه‌بندی و مقیاس‌بندی چندبعدی

چالش دیگر تحلیل عاملی ناشی از کاربرد فنون دیگری مانند تحلیل خوشه‌ای^۱ و مقیاس‌بندی چندبعدی^۲ است. در حالی که تحلیل عاملی نوعاً برای تحلیل ماتریس همبستگی به کار می‌رود، از سایر روش‌ها می‌توان برای هر نوع ماتریس اندازه‌های مشابهت مانند درجه‌بندی‌های مشابهت چهریزه‌ها^۳ استفاده کرد. اما این روش‌ها برخلاف تحلیل عاملی نمی‌تواند بر ویژگی‌های منحصر به فرد ماتریس‌های همبستگی مانند منعکس‌سازی^۴ متغیرها غلبه کند. برای نمونه اگر جهت تمره‌های یک مقیاس درون‌گرایی را منعکس یا وارون سازید به گونه‌ای که تمره‌های بالا به جای درون‌گرایی نشان‌دهنده برون‌گرایی باشد، بواقع، علائم همبستگی‌های میان متغیرها را برگردانده‌اید. به طور مثال، $-0/36$ به $+0/36$ و $+0/42$ به $-0/42$ تبدیل می‌شود. این گونه منعکس‌سازی‌ها برون‌داد تحلیل خوشه‌ای یا مقیاس‌بندی چندبعدی را به گونه‌ای کامل تغییر خواهد داد، در حالی که تحلیل عاملی منعکس‌سازی‌ها را آن گونه که هستند تشخیص می‌دهد. در حقیقت منعکس‌سازی‌ها تنها علائم بارهای عاملی متغیرهای منعکس‌شده را تغییر می‌دهد و هیچ چیز دیگری در برون‌داد تحلیل عاملی تغییر نخواهد کرد.

مزیت دیگر روش تحلیل عاملی بر سایر روش‌ها آن است که تحلیل عاملی می‌تواند ویژگی‌های خاص همبستگی‌ها را تشخیص دهد. برای نمونه، اگر همبستگی دو متغیر A و B برابر با $0/49 =$ و همبستگی هر یک از آنها با متغیر C برابر با $0/70 =$ باشد، تحلیل عاملی تشخیص می‌دهد که اگر متغیر C ثابت نگه‌داشته شود، همبستگی A و B برابر با صفر خواهد بود، زیرا $0/49 = 0/70^2$ است. مقیاس‌بندی چندبعدی و تحلیل خوشه‌ای توانایی تشخیص این رابطه را ندارد، زیرا این دو روش با همبستگی‌ها صرفاً به عنوان اندازه‌های کلی مشابهت رفتار می‌کنند. با وجود این، مقصود آن نیست که از سایر

1- cluster analysis

2. multidimensional scaling

3. facets

4- reflection

روش‌ها هرگز نباید برای ماتریس‌های همبستگی استفاده شود، زیرا گاهی اوقات بینش که این روش‌ها در اختیار می‌گذارد از طریق تحلیل عاملی به دست نمی‌آید. اما این روش‌ها تترانسته است تحلیل عاملی را منسوخ سازد.

متغیرهای متمایزکننده در برابر متغیرهای زیربنایی عامل‌ها

وقتی پژوهشگر مجموعه‌ای از متغیرها را به گونه‌ی علی منعکس‌کننده فقط یک عامل می‌داند، چیزهای زیادی دال بر این معنا وجود دارد که وی با تحلیل عاملی کاری ندارد. اگر به این جمله با دقت بیشتری نگاه کنیم مشخص می‌شود که معنای عبارت «فقط یک عامل این متغیرها را متمایز می‌کند»، آن است که موارد متعدد و متفاوتی وجود دارد که هیچ یک از آنها را نمی‌توان متناظر با این نتیجه‌گیری در تحلیل عاملی دانست و زیربنای این متغیرها را فقط یک عامل تشکیل می‌دهد.

یکی از معانی احتمالی عبارت متمایز ساختن آن است که همبستگی مجموعه‌ای از متغیرها با یکدیگر زیاد، اما از لحاظ معنا متفاوت است. با یک مثال می‌توان معنای مشابه دیگری را نیز در این باره بیان کرد. فرض کنید هر یک از چهار تست A، B، C، و D توانایی ذهنی ادراک شده‌ای را در مقیاس گسترده و یکسان می‌سنجد. اما این چهار تست به ترتیب افزایش دشواری در یک فهرست مرتب شده است. علاوه بر این، بالاترین همبستگی میان این تست‌ها ممکن است میان تست‌های همجوار AB، BC، و CD و کمترین همبستگی بین دو انتهای متضاد AD فهرست مذکور باشد. اگر کسی الگوی همبستگی‌های مواد این فهرست را مشاهده کند، ممکن است بگوید که این تست‌ها را می‌توان به ترتیب سادگی قرارداد و با این تست‌ها فقط در یک عامل بایکدیگر تفاوت دارند. اما تحلیل عاملی به هیچ وجه این نتیجه را به دست نمی‌دهد، زیرا این تست‌ها فقط در بردارنده یک عامل مشترک نیستند.

مورد سوم موقعی است که متغیر A بر B، B بر C، و C بر D اثر می‌گذارد، علاوه بر این، همه آنها تنها اثراتی هستند که این متغیرها را به هم پیوند می‌دهد. از سوی دیگر، هنوز بالاترین همبستگی‌ها مربوط به AB، BC، و CD و کمترین همبستگی‌ها مربوط به AD

خواهد بود. بنابراین، ممکن است همان عبارتی که پیش‌تر در مورد الگوی همبستگی‌ها بیان شد، در توصیف این وضعیت نیز به کار رود. اما این کاری نیست که تحلیل عاملی انجام می‌دهد.

مورد چهارم بواقع مورد خاصی از همه موارد گذشته یعنی مقیاس کامل گاتمن^۱ است. اگر مجموعه‌ای از داده‌های دو ارزشی به گونه‌ای مرتب شود که پاسخ منفی به هر سؤال دلالت بر پاسخ منفی به همه سؤال‌های بعدی، و پاسخ مثبت به هر سؤال دلالت بر پاسخ مثبت به همه سؤال‌های قبلی داشته باشد، در این صورت داده‌ها با مقیاس گاتمن برازش دارد. برای نمونه به مثال ساده زیر توجه کنید:

آیا قد شما بالاتر از ۱۶۰ سانتی‌متر است؟

آیا قد شما بالاتر از ۱۶۵ سانتی‌متر است؟

آیا قد شما بالاتر از ۱۷۰ سانتی‌متر است؟

فردی که به هریک از سؤال‌های بالا به گونه منفی پاسخ می‌دهد، باید به همه سؤال‌های بعدی نیز پاسخ منفی بدهد. از سوی دیگر، پاسخ مثبت در بردارنده آن است که پاسخ‌های قبلی نیز باید مثبت بوده باشد.

اکنون به مثال نه چندان ساده مربوط به سؤال‌های پرسشنامه زیر توجه کنید:

آیا کشور A باید حقوق گمرکی کمتری برای کشور B وضع کند؟

آیا بانک‌های مرکزی هر دو کشور باید یک پول واحد منتشرکنند؟

آیا ارتش‌های دو کشور باید یکی شود؟

آیا کشور A باید با پیوستن به کشور B، تبدیل به کشور واحد شود؟

اگر بپذیریم که سؤال‌های بالا نمونه‌هایی از مقیاس کامل گاتمن باشد، در این صورت توصیف نگرش دوم نسبت به کشور B ساده‌تر خواهد بود. وقتی مجموعه‌ای از داده‌ها در قالب مقیاس گاتمن ارائه شود به گونه جالبی دلالت بر این مطلب دارد که تحلیل عاملی، یک عامل مشترک واحد به دست نخواهد داد. مقیاس گاتمن نشان می‌دهد که یک عامل،

مجموعه‌ای از سؤال‌ها را (برای مثال نگرش مساعد نسبت به همکاری با کشور B) متمایز می‌کند، اما زیربنای همه سؤال‌ها تنها یک عامل نیست. کاربرد مقیاس‌بندی چندبعدی برای یک ماتریس همبستگی، همه الگوهای ساده و متفاوت بین متغیرها را کشف می‌کند. بنابراین، مقیاس‌بندی چندبعدی در پی یافتن عامل‌هایی است که متغیرها را متمایز می‌کند، در حالی که تحلیل عاملی در جست و جوی عامل‌هایی است که زیربنای این متغیرها را تشکیل می‌دهد. مقیاس‌بندی گاهی اوقات سادگی را به دست می‌دهد، اما تحلیل عاملی چنین نیست و بالعکس.

توصیه‌هایی درباره کاربرد تحلیل عامل اکتشافی

با توجه به مطالب بالا، و به منظور فراهم آوردن زمینه مناسب برای کسانی که مایل به یادگیری تحلیل عاملی اکتشافی هستند و یا آنهایی که سالهای متمادی در پژوهشهای خود از این روش استفاده کرده‌اند، موارد زیر به عنوان توصیه ارائه می‌گردد.

تعداد آزمودنی‌ها. هر چه ساختار عاملی حقیقی واضح‌تر باشد، برای کشف آن، حجم نمونه کوچک‌تری مورد نیاز است. اما کشف حتی یک ساختار عاملی ساده و روشن با کمتر از ۵۰ آزمودنی بسیار دشوار است، در حالی که تعداد ۱۰۰ نفر یا بیشتر برای ساختاری که وضوح کمتری داشته باشد ترجیح داده می‌شود. توجه داشته باشید که از جامعه مورد نمونه‌برداری آزمودنی‌هایی باید برگزیده شود که مقدار واریانس آنها از لحاظ عامل‌هایی که مایل به برآورد آنها هستید کم نباشد. حتی می‌توانید به گونه‌ای نمونه‌برداری کنید که آزمودنی‌های شما از لحاظ عامل‌هایی که مایل هستید برآورد کنید به گونه‌ای استثنایی متفاوت باشند، ولی از لحاظ سایر خصیصه‌ها تفاوت اندکی داشته باشند.

تعداد متغیرها. قواعد مربوط به تعداد متغیرها برای تحلیل عاملی تفاوت زیادی با رگرسیون دارد. در تحلیل عاملی، بواقع چنانچه متغیرها مربوط به عامل‌های زیربنایی

باشد هر چه تعداد آنها بیشتر باشد، بهتر است. بنابراین، متغیرهای کافی در نظر بگیرید به گونه‌ای که هر عامل مشترک دست‌کم توسط سه یا چند متغیر معرفی گردد. علاوه بر این، مطلوب آن است که سؤال‌هایی را برگزینید که معتبر و دارای میزان اشتراک مناسبی باشند.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی یا تحلیل عاملی. اگر هدف کاهش اطلاعات موجود در متغیرهای زیاد به صورت مجموعه‌ای از ترکیب‌های خطی وزن‌دار متغیرها باشد، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA^۱) را که بین واریانس مشترک و واریانس یگانه تمایزی قائل نمی‌شود، به کار برید. اما اگر مقصود تشخیص متغیرهای مکنونی باشد که در واریانس مشترک مجموعه‌ای از متغیرهای مورد اندازه‌گیری سهم است، تحلیل عاملی (FA) را که تلاش می‌کند واریانس یگانه را از تحلیل خارج کند، به کار برید.

تحلیل عامل اکتشافی یا تأییدی. اگر مایلید تعداد عامل‌های قابل استخراج را به تعداد معینی محدود کنید و نیز الگوهای بخصوصی از رابطه میان متغیرهای اندازه‌گیری شده و عامل‌های مشترک را تعیین کنید، و این عمل به گونه پیش‌تجربی (قبل از مشاهده داده‌ها) انجام شده است، در این صورت از تحلیل عاملی تأییدی استفاده کنید. اما اگر محدودیت تشخیص پیش‌تجربی داشته باشید، روش تحلیل عاملی اکتشافی را به کار برید.

استخراج تعداد عامل‌ها. استخراج بیش از حد لزوم عامل‌ها را بر استخراج کمتر از حد آن ترجیح دهید. استخراج بیش از حد عامل‌ها احتمالاً منجر به راه‌حلی می‌شود که در آن عامل‌های عمده توسط بارهای عاملی به دست آمده بخوبی برآورد می‌شود. اما در آن عامل‌های دیگری وجود دارد که به گونه ضعیفی تعریف شده است. استخراج کمتر از حد احتمالاً منجر به برآورد عامل‌های ضعیفی می‌گردد (مشابهت ضعیف ساختار عامل‌های

حقیقی با عامل های برآورد شده) که این خود مسئله ای جدی تر است. بسیاری از صاحب نظران (مانند دارلینگتون^۱، ۱۹۹۸؛ موریسون^۲، ۱۹۹۰، و فابریگر و دیگران، ۲۰۰۱) به قاعده «ارزش ویژه بیش از ۱/۰» کیسر و نیز آزمون شیب دار کتل علاقه مند نیستند و آن را منسوخ شده می دانند. به اعتقاد آنان قاعده کیسر تنها در باره ارزش های ویژه ماتریس کامل همبستگی (که در قطر اصلی آن ۱/۰ قرار دارد) به کار می رود، در حالی که مقصود اصلی تحلیل عاملی کار با ارزش های ویژه ماتریس همبستگی کاهش یافته است (که در قطر اصلی آن برآوردهای میزان اشتراک قرار دارد). بیشتر مؤلفان، «تحلیل موازی» را مطرح می کنند که در آن ارزش های ویژه به دست آمده با ارزش های مورد انتظار حاصل از داده های تصادفی مقایسه می شود. اگر تعداد ارزش ویژه نخست عامل هایی که مقادیر آنها بزرگتر از مقادیر مورد انتظار از داده های تصادفی است برابر با m باشد، در این صورت می توان راه حل m عاملی را پذیرفت. متأسفانه این روش در برنامه های آماری رایج وجود ندارد.

یکی از قواعد مناسب و در عین حال دشوار برای استخراج عامل ها، کاربرد آزمون معناداری رسمی برای تعیین تعداد عامل های مشترک است. چنانچه N حجم نمونه، P تعداد متغیرها، m تعداد عامل ها، R_{ij} نمایشگر ماتریس پس ماند U که به ماتریس همبستگی انتقال یافته است، $|R_U|$ دترمینال ماتریس، و $\ln(1/|R_U|)$ لگاریتم طبیعی عکس دترمینال باشد، نخست باید عبارت زیر را محاسبه کنیم:

$$G = N - 1 - (2P + 5) / 6 - (2/3)m$$

سپس باید مجذورکای را به ترتیب زیر و با درجه آزادی $|p - m| \cdot p \cdot m / 5 = df$ محاسبه کنیم.

$$\text{Chi-square} = G \ln(1/|R_U|)$$

چنانچه محاسبه $\ln(1/|R_U|)$ دشوار باشد، این عبارت اغلب از طریق $\sum U^2$ ، که در آن علامت سیگما بیانگر مجموع همه مجذورات همبستگی های غیرقطری در ماتریس R_{ij}

است؛ به‌خوبی تخمین زده می‌شود.

به منظور کاربرد این فرمول برای انتخاب تعداد عامل‌ها، نخست با $m = 1$ (یا حتی با $m = 0$) آغاز کنید و برای افزایش موفقیت‌آمیز مقادیر m ، آزمون بالا را انجام دهید. وقتی تفاوت معناداری پیدا نکردید، عملیات را متوقف کنید. مقدار m کوچک‌ترین مقداری است که از طریق داده‌ها به‌گونه معنادار رد نمی‌شود. مشکل عمده این قاعده آن است که بنا بر تجربه، در نمونه‌های نسبتاً بزرگ، نسبت به آنچه می‌توان به خوبی تفسیر کرد، منجر به استخراج عامل‌های بیشتری می‌شود.

مشخصه‌های برازندگی موجود در تحلیل عاملی با روش ML می‌تواند از لحاظ تعیین تعداد عامل‌ها مفید باشد. پژوهشگر ابتدا در این باره تصمیم می‌گیرد که باید حداکثر چند عامل (K) استخراج کند. سپس مدل‌ها را با ۰، ۱، ۲، ...، K برازش می‌دهد و برازندگی آنها را باهم مقایسه می‌کند. روش دیگری نیز وجود دارد که با آنکه غیر تجربی است، کاربرد فراوان دارد. در این روش، باید تحلیل عاملی را با مقادیر مختلف m اجرا کنید، چرخش عامل‌ها را نیز انجام دهید، سپس موردی را برگزینید که خوشایندترین ساختار را فراهم می‌آورد. بنابراین، راه‌حلی که در مرحله نخست به نظر می‌رسد باید دارای تعداد صحیحی از عامل‌ها باشد، یعنی راه‌حل‌های با یک، یا دو عامل بیشتر و کمتر را بررسی کنید، و سپس راه‌حلی که بیشترین معنا را بدهد بپذیرید.

به اعتقاد بسیاری از پژوهشگران (مانند دارلینگتون، ۱۹۹۸ و وال، ۲۰۰۰) «مدلی که نتواند یک راه‌حل چرخش‌یافته قابل تفسیر و از لحاظ نظری حساس تولید کند، بی‌ارزش است». این مطلب همان است که «ملاک مفید بودن» نامیده می‌شود.

روش استخراج عامل‌ها، روش پیشینه احتمال (ML). محاسبه شاخص‌های برازندگی (داده‌ها با مدل)، آزمون معنادار بودن بارهای عاملی و همبستگی بین عامل‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد، اما مستلزم مفروضه نرمال بودن چندمتغیری است. روش عامل‌های صلی (PF) فاقد مفروضه‌های مربوط به توزیع‌هاست. از این رو، مؤلفان با کاربرد روش ML موافقت و پیشنهاد می‌کنند نخست توزیع متغیرهای اندازه‌گیری شده از لحاظ نرمال بودن بررسی شود. بنابراین، جز در مواردی که مسائل جدی (مثلاً کجی < ۲، و

کشیدگی < ۷) باشد، از روش ML استفاده کنید. اما اگر با مسئله جدی رو به رو بودید، به جای آنکه فوراً PF را به کار برید، ابتدا تلاش کنید آن را (مثلاً از طریق انتقال متغیرها) تصحیح کنید.

شیوه چرخش. بیشتر صاحب نظران قویاً طرفدار کاربرد چرخش متمایل هستند و آن را بر راه حل های متعامد ترجیح می دهند. به عقیده آنها ابعاد مورد علاقه روان شناسان اغلب متعامد نیستند. بواقع، اگر متغیرهای مکنون همبسته باشند، در این صورت چرخش متمایل بر آورد بهتری از عامل های حقیقی و نیز ساختار ساده بهتری نسبت به چرخش متعامد تولید می کند. اما اگر چرخش متمایل نشان دهد که همبستگی های بین عامل ها نزدیک به صفر است، در این صورت تحلیلگر می تواند با چرخش متعامد (که بواقع همان راه حل نزدیک به چرخش متمایل را به دست می دهد) پیش رود.

مآخذ

- Spearman, C. (1904). "A general Intelligence objectively determined and measured". *American Journal of psychology*, 15, 201-293
- Thompson, B., & Dennings, B. (1993). "The unnumbered graphic scale as a data-collection method: An investigation comparing three measurement strategies in the context of Q-technique factor analysis". paper presented at the annual meeting of the Mid-South Education Research Association, New Orleans.
- Carr, S. C. (1992). "A primer on the use of Q technique factor analysis". *Measurement and Evaluation in counseling and Development*, 25, 133-138.
- Gursuch, R. L. (1983). *Factor Analysis* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum. Kerlinger, F. N. (1986). *Foundations of behavioral research* (3rd ed.). New York: Holt, Rhinehart and Winston.
- Fabrigar, L. N. ; Wogner, D. T. ; Maccallum, P. C. & Strahan, E. J. (1999). "evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research". *Psychological Methods*. 4: 272-299.

Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods*. New York: McGraw-Hill.

Rubenstein, A. S. (1986). "*An Item level analysis of questionnaire-type measure of intellectual Curiosity*".
Cornell university. Ph.D.thesis.

Lord, F. M. & Novick, M. R. (1968). *Statistical Theories of Mental Test Scores*. Menlo Park, Calif:
Addison-Wesley.

Waller, G. Niels. (2000). *MicroFact for Windows: Factor Analysis for Dichotomous and Polytomous
Response Data*. Assessment Systems Corporation.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی