

مقدمه ای بر رویکرد مدل سازی معادلات ساختاری در علوم اجتماعی و رفتاری

مبانی، کاربردها، ملاحظات و نرم افزارها

رامین کریمی

www.kharazmi-statistics.ir

چکیده

در روش های متداول و رایج تحلیل آماری، برای تعیین یا تأیید فرضیه های نظری مبتنی بر تحلیل داده های تجربی، بر فنون مبتنی بر رگرسیون (تحلیل رگرسیون، تحلیل تشخیصی، تحلیل لجستیک و تحلیل واریانس) و تحلیل عاملی یا خوشه‌ای، به عنوان مجموعه اصلی از ابزارهای آماری تأکید می شود. محققان رشته های مختلف، با استفاده از این روش ها نتایجی را به دست آورده اند تا بر اساس آن راهی برای درک جهان بیابند. از جمله این روش ها می توان به روش تحلیل عاملی اسپیرمن (۱۹۰۴) در تعیین ساختارهای عاملی در روانشناسی و تحلیل خوشه ای هافستد (۱۹۸۳) برای کشف تفاوت های میان فرهنگی در جامعه شناسی اشاره کرد. یکی از رویکردهای جدید و روبه گسترش در این زمینه رویکرد مدل سازی معادلات ساختاری است که به طور روزافزونی توسط پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته است.

مدل سازی معادلات ساختاری یک رویکرد آماری جامع برای آزمون فرضیه هایی در مورد روابط بین متغیرهای مشاهده شده و پنهان است. مبانی آماری این رویکرد در اوایل دهه ۱۹۷۰ ارائه شد. امروزه این روش یا رویکرد به طور گسترده ای مورد توجه محققان علوم اجتماعی قرار گرفته است (Hoyle, 1995:1). این مقاله مروری بر قابلیت ها، کاربردها و مفروضات و محدودیت ها تکنیک مدل سازی معادلات ساختاری است و در انتها مروری اجمالی بر نرم افزارهای رایج و نیز معرفی تکنیک حداقل مجزورات جزئی خواهد شد.

کلیدواژه ها: مدل یابی معادلات ساختاری، حداقل مجزورات جزئی، تحلیل آماری، تحلیل عاملی تاییدی، لیزرل

مقدمه

روش‌های متداول آماری با وجود کاربردهای فراوانی که دارند و بسیار شناخته شده نیز هستند، اما همه این روش‌ها دارای سه محدودیت یکسان هستند که منجر به شکل‌گیری و گسترش رویکردهای جدیدی برای مواجهه با این مسائل و محدودیت‌ها شده است. این سه محدودیت عبارتند از:

۱) پیش‌فرض ساختار مدل ساده (حداقل در مورد رویکردهای مبتنی بر رگرسیون)، ۲) پیش‌فرض قابل مشاهده بودن همه متغیرها، ۳) پیش‌فرض اندازه‌گیری بدون خطای همه متغیرها. این محدودیت‌ها قابلیت استفاده از این روش‌ها را در برخی موقعیت‌های پژوهش محدود می‌سازد.

فرض ساختار مدل ساده (یک متغیر وابسته و چندین متغیر مستقل) را جاکوبی (۱۹۷۸) این‌گونه مورد نقد قرار می‌دهد که: ما در یک دنیای پیچیده و چندمتغیره زندگی می‌کنیم، باید در نظر داشته باشیم مطالعه عوامل اثر یک یا دو متغیر به صورت مجزا، نسبتاً کاذب و غیرمنطقی است. اگرچه در مدل‌سازی‌ها برخی از جنبه‌های واقعیت نادیده گرفته می‌شوند. اما این پیش‌فرض در رویکردهای رگرسیونی ممکن است تحلیل موقعیت‌های پیچیده و واقعی را بسیار محدود کند. به ویژه هنگامی که هدف تعیین اثرات بالقوه متغیرهای میانجی یا واسطه‌ای بر ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته باشد، که ممکن است ناشی از تأثیر برخی متغیرهای وابسته بر متغیرهای وابسته دیگر باشد (سیدعباس زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

در مورد محدودیت پیش‌فرض دوم، مک دونالد (۱۹۹۶) تأکید می‌کند که یک متغیر فقط زمانی می‌تواند قابل مشاهده نامیده شود که ارزش آن از طریق نمونه‌گیری دنیای واقعی بدست آید. بنابراین هرمتغیری که مستقیماً با هرچیز قابل مشاهده مطابقت نداشته باشد باید به عنوان غیرقابل مشاهده در نظر گرفته شود. بر اساس این تعریف تنها برخی از متغیرها مانند سن و جنسیت قابل مشاهده تلقی می‌شوند، حال آنکه اثر و مشخصات مولکول‌ها، فرآیندها، ژن‌ها، ویروس‌ها و باکتری‌ها معمولاً به صورت غیرمستقیم مشاهده می‌شوند.

در مورد این فرض که همه متغیرها بدون خطا، اندازه‌گیری می‌شوند، باید دانست هر مشاهده‌ای از دنیای واقعی با خطاهای اندازه‌گیری خاصی همراه است، که از دوبرخش تشکیل می‌شوند نخست خطای تصادفی که از ترتیب‌گویی‌ها یا خستگی پاسخگو ناشی می‌شود و دوم خطای منظم، از قبیل واریانس روش (نسبت دادن واریانس به روش نمونه‌گیری به جای سازه مورد بررسی)؛ به دلیل این که نمره مشاهده شده‌ی یک گویه از سه بخش تشکیل شده است، یعنی نمره واقعی متغیر، خطای تصادفی و خطای منظم. با دید دقیق‌تر می‌توان گفت روش‌های پیشین، تنها هنگامی قابل استفاده هستند که مولفه‌های خطای منظم و تصادفی نداشته باشند که این امر به ندرت در واقعیت امکان‌پذیر است (همان، ۲).

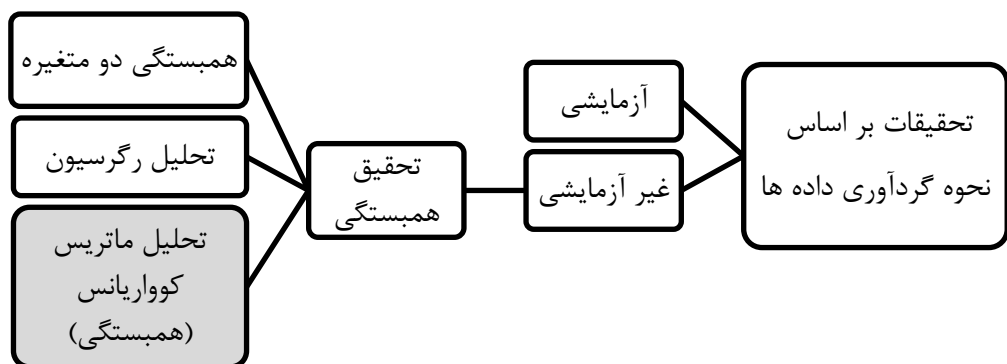
بخش اول: آشنایی با روش مدل‌سازی معادلات ساختاری^۱

برای غلبه بر محدودیت‌های روش‌های پیشین، نویسندگان به طور فزاینده‌ای از مدل‌سازی معادلات ساختاری به عنوان یک راه حل مناسب استفاده کرده‌اند. مدل‌سازی معادلات ساختاری را گاه تحلیل ساختاری کوواریانس، مدل‌سازی علی و گاه نیز لیزرل نامیده شده است. اما اصطلاح غالب در این روزها، مدل‌سازی معادلات ساختاری یا به گونه خلاصه SEM^۲ است (هومن، ۱۳۸۷: ۱۱). آنالیز ساختارهای کوواریانس برای اولین بار توسط باک و باگمن برای توصیف روش تحلیل عوامل تاییدی به کار گرفته شد (قاضی طباطبایی، ۱۳۷۴: ۹۹).

مدل‌سازی یکی از انواع روش‌های تحقیق توصیفی (غیر آزمایشی) است. در تحقیق همبستگی، رابطه میان متغیرها بر اساس هدف تحقیق تحلیل می‌گردد. تحقیقات همبستگی را می‌توان برحسب هدف به سه دسته تقسیم کرد: الف) مطالعه همبستگی دو متغیری (ب) تحلیل رگرسیون (ج) تحلیل ماتریس همبستگی یا ماتریس کوواریانس. در مطالعات همبستگی دو متغیری، هدف بررسی رابطه دوجه دو متغیرهای موجود در تحقیق است. در تحلیل رگرسیون هدف پیش‌بینی تغییرات یک یا چند متغیر وابسته (ملاک) با توجه به تغییرات متغیرهای مستقل (پیش‌بین) است. در بعضی بررسی‌های از مجموعه همبستگی‌های دومتغیری متغیرهای مورد بررسی، در جدولی به نام ماتریس همبستگی یا کوواریانس استفاده می‌شود. از جمله تحقیقاتی که در آن‌ها ماتریس همبستگی یا کوواریانس تحلیل می‌شود، تحلیل عاملی و مدل معادلات ساختاری است. در تحلیل عاملی هدف تلخیص مجموعه‌ای از داده‌ها یا رسیدن به متغیرهای مکنون (سازه) و در مدل معادلات ساختاری آزمودن روابط ساختاری مبتنی بر نظریه‌ها و یافته‌های تحقیقاتی موجود است (سرمد، بازرگان و حجازی، ۱۳۸۵: ۹۱). تکنیک مدل‌سازی معادلات ساختاری یک تکنیک اطلاعات کامل است، چرا که از تمامی اطلاعات موجود در مدل استفاده می‌کند (قاضی طباطبایی، ۱۳۷۴: ۱۰۰).

^۱ به جهت رعایت اختصار، از این پس از واژه مدل‌سازی به جای مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده می‌شود.

^۲ Structural Equation Modeling

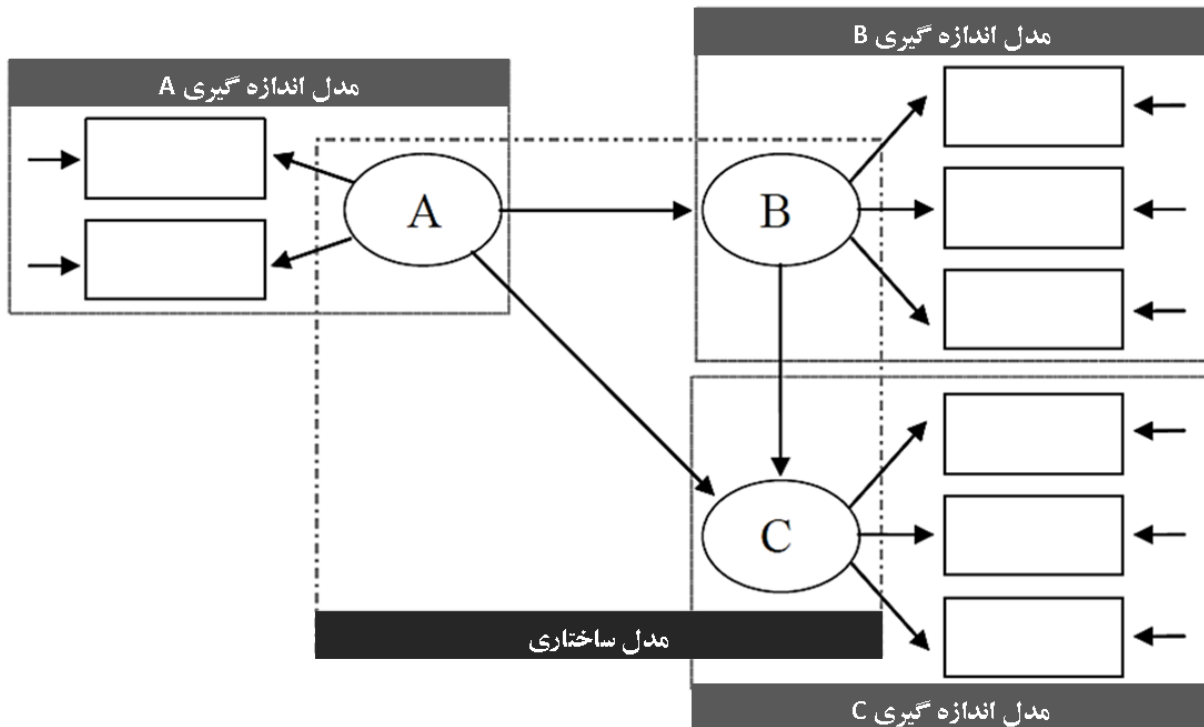


شکل ۱- تقسیم بندی تحقیقات بر اساس نحوه گردآوری داده ها

مدل، به بیان ساده یک گزاره آماری درباره روابط میان متغیرهاست. تدوین مدل در SEM، گام عمده ای است که در فرآیند آن باید متغیرهای مکنون و مشاهده شده و روابط بین سازه های مشخص گردد. واژه ساختار که در واقع هسته تکنیک مدل یابی معادلات ساختاری است، بیانگر روابط بین متغیرهای پنهان است.

در مقایسه با روش های رگرسیونی، که در آن ها فقط یک سطح از رابطه ی بین متغیرهای مستقل و وابسته به صورت همزمان تحلیل می شوند، در مدل یابی معادلات ساختاری به عنوان روش ثانویه، امکان مدل یابی ارتباط میان چندین سازه مستقل و وابسته وجود دارد. بنابراین در این دو روش تفاوتی بین متغیرهای مستقل و وابسته نیست، بلکه بین متغیرهای مکنون درون زا (متغیرهایی که تحت تاثیر عوامل درون مدل قرار دارند) و برون زا (متغیرهایی که تحت تاثیر عوامل خارج از مدل قرار دارند) تمایز وجود دارد.

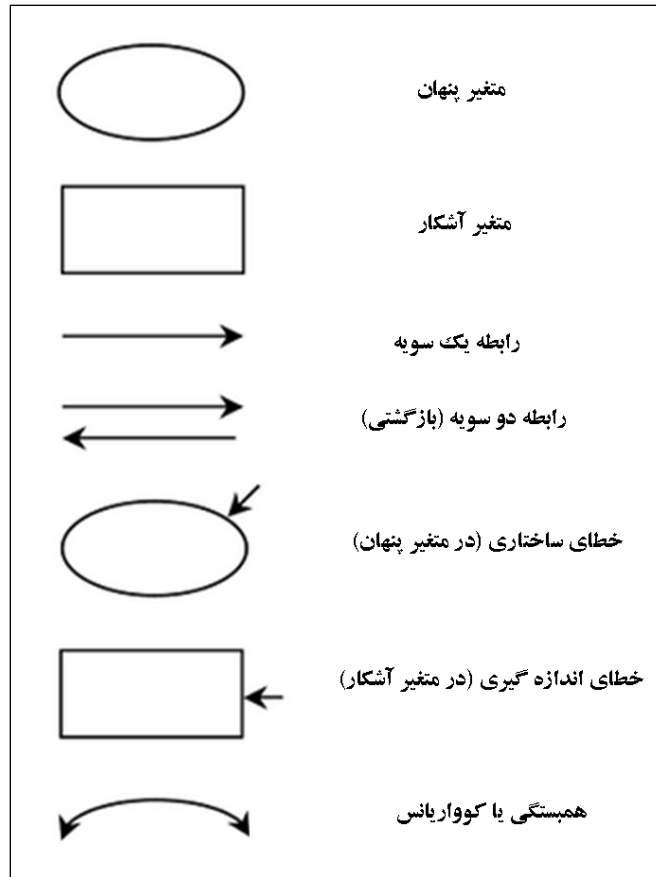
اجزاء یک مدل معادله ساختاری



شکل ۲- اجزاء یک مدل معادلات ساختاری

شکل بالا یک مدل معادله ساختاری را نشان می دهد. یک مدل معادله ساختاری در شکل عمومی اش از دو نوع مدل تشکیل شده است: (۱) مدل اندازه گیری و (۲) مدل ساختاری. هر مدل معادله ساختاری دارای یک مدل ساختاری و حداقل دو مدل اندازه گیری است. مدل اندازه گیری، نحوه سنجش یک متغیر پنهان را با استفاده از دو یا تعداد بیشتری متغیر مشاهده شده تعریف می کند. همچنین مدل اندازه گیری مشخص می کند که مجموعه متغیرهای مشاهده شده برای یک متغیر پنهان تا چه حد تحت تاثیر متغیر پنهان مورد نظر و تا چه حد تحت تاثیر متغیر خطا (همه عوامل تاثیرگذار غیر از متغیر پنهان مورد نظر) هستند. یک مدل ساختاری نشان می دهد که متغیرهای پنهان چگونه بر یکدیگر اثر می گذارند. در واقع مدل ساختاری بیانگر روابط میان متغیرهای پنهان است. در مدل مثالی بالا، سه متغیر پنهان (A, B, C) وجود دارد که هر کدام دارای دو یا سه متغیر مشاهده شده هستند. مدل بالا دارای سه مدل اندازه گیری (به تعداد متغیرهای پنهان) است.

معنای آماری هر کدام از نمادها در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۳- نمادهای مورد استفاده در ترسیم مدل های ساختاری

مزیتی که روش های مبتنی بر مدل یابی معادلات ساختاری نسبت به روش های پیشین دارند، انعطاف پذیری این روش ها در بررسی اثر متقابل نظریه و داده ها است. اگر مبانی نظری قوی باشد، محققان می توانند در تحلیل داده ها بیشتر به نظریه متکی شوند و هنگامی که مبانی نظری قابل اطمینانی وجود نداشته باشد محققان می توانند بیشتر به داده های تجربی متکی شوند.

در مدل یابی معادلات ساختاری این امکان فراهم می شود تا متغیرهای مکنون به وسیله نشانگرهای اندازه گیری شده و خطای اندازه گیری در مدل، مورد بررسی قرار گیرند. بنابراین، محققان می توانند با استفاده از این روش ها بر محدودیت های روش های پیشین غلبه کرده و این امکان را بیابند که فرض های مورد اندازه گیری و نظری را به کمک روش تحلیل عاملی تأییدی در برابر داده های تجربی، به روش آماری آزمون کنند.

بر اساس رویکردهای مبتنی بر مدل یابی معادلات ساختاری، محققان علوم مختلف می توانند رابطه علی میان چند متغیر پیش بین (مستقل) و وابسته را حتی زمانی که این روابط پیچیده باشند، بررسی کنند. این امر از طریق معادله های ساختاری سلسله مراتبی با غیرسلسله مراتبی، بازگشتی یا غیرقابل بازگشتی قابل آزمون می باشد. علاوه بر این

محققان می توانند متغیرهای مکنون و خطای مدل های اندازه گیری را تعیین کنند و با انعطاف بیشتری مدل نظری نزدیک به واقعیتی را طرح نموده و آن را در برابر داده های واقعی به آزمون بگذارند. در واقع ویژگی اصلی مدل سازی، مقایسه مدل با داده های تجربی است.

مدل یابی معادلات ساختاری برپایه فرضیه هایی درباره وجود روابط علی بین متغیرها، مدل های علی را با دستگاه معادله خطی آزمون می کند. بدین ترتیب، مدل سازی، روابط نظری بین شرایط ساختاری معین و مفروض را می آزماید و برآورد علی میان متغیرهای مکنون (مشاهده نشده یا پنهان) و نیز روابط میان متغیرهای اندازه گیری شده (مشاهده شده یا آشکار) را امکان پذیر می سازد. در کل می توان گفت که با بررسی واریانس ها و کوواریانس ها می توانیم این فرضیه را که «متغیرها از طریق مجموعه ای از روابط خطی با هم مرتبط اند» را بیازماییم (هومن، ۱۳۸۷: ۱۹).

بخش دوم: کاربردهای عمده مدل سازی

روش یا رویکرد مدل سازی دارای کاربردهای متعددی است اما می توان گفت که مدل یابی علی و تحلیل عاملی تأییدی از کاربردهای عمده آن است:

۱. مدل یابی علی: پارامترهای حاصل از تحلیل رگرسیون دست کم در سه موقعیت اساسی زیر نمی تواند اطلاعات لازم را فراهم کند:

- وقتی متغیرهای مشاهده شده دارای خطای اندازه گیری باشند.
- وقتی بین متغیرهای مشاهده شده، روابط درهم تنیده جریان علی وجود داشته باشد.
- وقتی متغیرهای مهم تبیین کننده، مشاهده نشده باشند.

اما توابع ساختاری می تواند در همه موقعیت های بالا نقش مهم و سازنده ای ایفا کند. علوم اجتماعی و رفتاری برخلاف علوم طبیعی به ندرت به تجزیه و تحلیل دقیق در شرایط کنترل شده دست یابی دارد. در این علوم، استنباط روابط علی برپایه مطالعاتی صورت می گیرد که در آن ها مدل ها و فرضیه های علی از لحاظ آماری ارزیابی می شود. در چنین مطالعاتی حتی روابط علی را نمی توان ثابت کرد، تنها منطقی بودن نسبی آن ها را در برابر سایر چارچوب های تبیین می توان تأیید کرد. در این علوم، بیشتر تئوری ها و مدل ها در قالب سازه های نظری که مستقیماً مشاهده پذیر و اندازه پذیر نیست، بیان می شود. اما برای عملیاتی کردن و اندازه گیری متغیرهای نظری می توان از شاخص ها یا نشانه هایی که نشانگر (متغیر مشاهده شده یا آشکار) نامیده می شود، استفاده کرد. استنباط های علی به واقع به مسیرهایی بستگی دارد که طرح مطالعه مشخص کرده است. بررسی روابط همزمان متغیرها، بررسی اثرات یا روابط مستقیم و غیر مستقیم و نیز بررسی میانجی گری از کاربردهای عمده این تکنیک است.

۲. تحلیل عاملی تأییدی: این روش که در واقع بسط تحلیل عاملی معمولی است، یکی از جنبه های مهم مدل یابی معادلات ساختاری است که در آن فرضیه های معینی درباره ساختار بارهای عاملی و همبستگی های متقابل بین متغیرها مورد آزمون قرار می گیرد. مدل یابی معادلات ساختاری علاوه بر تحلیل اکتشافی، تحلیل عاملی تأییدی را نیز به کار می برد. این تحلیل اساساً یک روش آزمون فرضیه است و بر این مفروضه متکی است که شما درباره این که مؤلفه متغیرهای نهفته چیست اندیشه ای دارد؛ یعنی به دنبال یافتن نشانگرها نیستید. مدل یابی معادلات ساختاری این مطلب را که آیا نشانگرهایی که برای معرفی سازه یا متغیر پنهان خود برگزیده اید، واقعاً معرف آن است یا نه، می آزماید و گزارش می دهد که نشانگرهای انتخابی با چه دقتی معرف یا برازنده متغیر پنهان است.

۳. تحلیل عاملی مرتبه دوم: صورتی از تحلیل عاملی است که در آن خود ماتریس همبستگی عامل های مشترک تحلیل می شود تا عامل های مرتبه دوم به دست آید (هومن، ۱۳۸۷: ۱۸).

بخش سوم: تفاوت مدل سازی با سایر روش ها

تفاوت مدل یابی با رگرسیون

برخلاف روش های رگرسیونی، در مدل یابی معادلات ساختاری، نه تنها مدل ساختاری ارزیابی می شود، بلکه مدل اندازه گیری نیز مورد بررسی قرار می گیرد. تحلیل همزمان مدل اندازه گیری و مدل ساختاری این امکان را فراهم می سازد تا خطاهای اندازه گیری متغیرهای مشاهده شده به عنوان بخشی از مدل، همراه با آزمون فرضیه ها تحلیل شوند. (سید عباس زاده و همکاران، ۱۳۹۱:۵). به عبارت دیگر، انتظار می رود که نتایج حاصل از مدل سازی معادله ساختاری در مقایسه با نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون واقعی تر باشد (قاسمی، ۱۳۹۲:۱۰).

تفاوت مدل یابی با تکنیک تحلیل مسیر

تحلیل مسیر برای آزمون مدل های علی به کار می رود و مستلزم تنظیم نموداری به صورت نمودار علی است و به ما کمک می کند ببینیم در پی چه چیزی هستیم. تحلیل مسیر ما را قادر می سازد به سازوکار اثر متغیرها بر یکدیگر پی ببریم؛ تحلیل مسیر مشخص می کند اثر هر متغیر تاچه حد مستقیم و تا چه حد غیر مستقیم است. بدین ترتیب تحلیل-مسیر به طریق قابل فهم ساده‌ای اطلاعات زیادی درباره فرآیندهای علی فراهم می آورد (دواس، ۱۳۷۶:۲۲۲). با این وجود این تکنیک که عمدتاً با نرم افزار SPSS انجام می شود دارای محدودیت هایی است که در مدل سازی این محدودیت ها وجود ندارد. محدودیت نخست تکنیک تحلیل مسیر در شرایطی است که متغیرهای مهم تبیین کننده مشاهده نشده باشند و محدودیت دوم زمانی است که متغیرهای مهم مشاهده شده حاوی خطای اندازه گیری باشند. به بیان دیگر مدل معادلات ساختاری دارای دو بخش مدل ساختاری و مدل اندازه گیری است و تحلیل مسیر تنها شامل مدل ساختاری است و در تحلیل مسیر تنها متغیرهای آشکار (به عنوان متغیرهای اصلی) استفاده می شوند. در تحلیل مسیر مدل اندازه گیری وجود ندارد.

بخش چهارم: مفروضات و ملاحظات مدل سازی

حجم نمونه

مدل سازی به نمونه های بزرگ نیاز دارد. پیشنهاد کلی در مورد حجم نمونه این است که تا حد امکان داده های بیشتری به دست بیاورید. یک قانون سرانگشتی برای تعیین حجم نمونه بدین صورت است که حجم نمونه کمتر از ۱۰۰ را کوچک، بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ را متوسط و بیشتر از ۲۰۰ را بزرگ به حساب می آورد. به طور مشابه، برخی نیز معتقدند که حداقل حجم نمونه مناسب برای تحلیل، عموماً ۱۰۰ تا ۱۵۰ نمونه است (Khin, 2013:38). از سوی دیگر بوسما توصیه می کند که برای تخمین مدل های معادلات ساختاری به وسیله روش حداکثر درست نمایی، حداقل حجم نمونه باید ۲۰۰ مورد باشد. به طور کلی در این نوع مطالعات نتایج حاصل از حجم نمونه کمتر از ۱۰۰ نفر از اعتبار لازم برخوردار نیست (کلانتری، ۱۳۸۷:۴۶). برخی برای برآورد حجم نمونه مورد نیز پیشنهاد کرده اند که به ازای هر متغیر اندازه گیری شده یا آشکار، تعداد ۱۵ مورد یا نمونه نیاز است. همچنین باید توجه داشت که هرچه تعداد متغیر در یک مدل بیشتر باشد باید حجم نمونه نیز افزایش یابد. همچنین زمانی که توزیع داده ها نرمال نبوده یا کجی داشته باشد (که تقریباً همیشه نیز چنین است)، گروه های نمونه با حجم بزرگ تر مورد نیاز است (هومن، ۱۳۸۷: ۲۲-۲۳).

هم خطی چندگانه

یک از مسائلی که پژوهشگران هنگام استفاده از طرح های همبستگی (از قبیل رگرسیون و مدل یابی معادلات ساختاری) با آن مواجه می شوند، هم خطی چندگانه است. اغلب، هم خطی چندگانه زمانی بروز می کند که متغیرهای متفاوت در واقع چیز واحدی را اندازه گیری می کنند. هم خطی چندگانه می تواند بین متغیرهای مکنون، وقتی که همبستگی برآوردشده ی آن ها بسیار بالا باشد هم اتفاق بیفتد. این امر نشانگر آن است که آن ها متغیرهای متمایزی از یکدیگر نیستند. دو راه اساسی برای مواجهه با هم خطی چندگانه وجود دارد: حذف متغیرها و ترکیب متغیرهای زائد و ساخت یک متغیر ترکیبی (سید عباس زاده، ۱۳۹۱: ۱۹-۲۰).

توزیع نرمال چندمتغیره

توزیع چندمتغیره داده ها و نرمال بودن آن بحثی است که بی توجهی به آن توسط پژوهشگر می تواند وی را به نتیجه گیری نادرست هدایت کند. بررسی ها نشان می دهد که هر چه توزیع متغیرهای مشاهده شده غیرنرمال تر باشد مقدار کای اسکوئر به شدت افزایش می یابد و یا می تواند به خطاهای استاندارد کوچک و یا بسیار کوچک بیانجامد که در نتیجه آن پارامترها به لحاظ آماری معنی دار تلقی می شوند هرچند در واقعیت چنین نباشد. چنین وضعیتی به این واقعیت برمی گردد که عمومی ترین روش برآورد پارامترها و خطای استاندارد آن ها، یعنی روش حداکثر درست نمایی بر پیش فرض نرمال بودن چندمتغیره استوار است.

برای رفع این مشکل، پیشنهاد شده است که از روش خودگردان سازی استفاده شود. خودگردان سازی به عنوان روشی که مبتنی بر بازنمونه گیری با جایگذاری از یک نمونه مورد مطالعه است (نمونه ای که فرض می شود معرف جامعه است)، در شرایطی که در آن مفروضه ی نرمال بودن چندمتغیره نقض شده است، می تواند بر برآورد دقیق تر پارامترها و خطای استاندارد مرتبط با آن ها یاری رساند(قاسمی، ۱۳۹۲:۲۶۹). روش های چندمتغیره تا حدی در برابر نقض پیش فرض نرمال بودن مقاوم هستند به ویژه اگر علت اصلی نقض این پیش فرض کجی باشد تا این که از داده های دور افتاده ناشی شده باشد. در نتیجه می توان با توجه و اصلاح داده های دورافتاده تاحدی این مسأله را رفع کرد. همچنین برخی از روش های تخمین مانند روش حداقل مجذورات وزنی (WLS) و حداقل مجذورات وزنی قطری (DWLS) روش هایی هستند که پیش فرض توزیع نرمال در خصوص متغیرهای مشاهده شده را مطرح نمی کنند، اما آن ها حجم نمونه بسیار بالایی (بیش از ۱۰۰۰ مورد) را طلب می کنند(کلانتری، ۱۳۸۷:۹۶).

مسئله همانندی

یکی از مباحث اساسی که در تحلیل معادلات ساختاری باید به آن توجه شود، همانندی مدل است. زمانی که تعداد پارامترهایی که باید تخمین زده شوند بیشتر از تعداد معلومات مدل باشد، در این صورت برآورد پارامترها امکان پذیر نخواهد بود و داده های تجربی گردآوری شده کفایت لازم برای ارائه یک راه حل واحد برای پارامترهای مدل را نخواهد داشت. در چنین شرایطی مدل با مشکل همانندی مواجه می گردد. این موضوع را می توان با بهره گیری از یک مثال به صورت روشن تر بیان کرد. فرض کنید از شما خواسته شود که یک راه حل واحد برای معادله $A \times B = 40$ پیدا کنید. در این صورت ما ممکن است جفت هایی از مقادیر (مانند: ۲ و ۲۵، ۴ و ۱۰، ۵ و ۸، ۷ و ۶ و غیره) پیدا کنید که برازش لازم برای معادله فوق را ندارند. در مقابل ممکن است جفت هایی از مقادیر (مانند: ۱ و ۴۰، ۲ و ۲۰ و ۴ و ۱۰، ۵ و ۸) ارائه دهیم که همه آن ها به طور مناسب پاسخ های دقیقی برای معادله مورد نظر هستند. در اینجا فرد در سرگردانی قرار می گیرد که کدامیک از جفت های مقادیر بالا باید به عنوان راه حل دقیق با برازش مناسب، انتخاب شوند. این همان موضوعی است که به مسئله همانندی^۳ مشهور است.

مدل ها از نظر همانندی در سه دسته قرار می گیرند: مدل های زیر مانند، همانند و زبر مانند. در مدل زیر مانند درجه آزادی منفی است، در مدل همانند درجه آزادی برابر با صفر و در مدل زبر مانند، درجه آزادی مثبت (مقدار ۱ یا بیشتر) است.

در مدل زیر مانند امکان تخمین پارامترها وجود ندارد و شاخص های برازش نیز قابل محاسبه نخواهد بود. برای تبدیل مدل زیر مانند به همانند یا زبر مانند، می توان محدودیت های زیر را بر مدل اعمال کرد.

^۳ Identification Problem

الف) می توان متغیرهای آشکار (یا شاخص های) بیشتری در مدل قرار داد.

ب) می توان تعداد بیشتری از پارامترها را برابر با صفر قرار داد (این روش توسط محققین بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد). (کلانتری، ۱۳۸۷: ۸۱-۸۳).

در مدل همانند، درجه آزادی برابر با ۰ (صفر) است. در مدل همانند، پارامترها محاسبه می شوند، اما اطلاعاتی برای آزمون مدل باقی نمی ماند و در نتیجه شاخص های برازش محاسبه نمی شوند. به بیان صحیح تر، مدل دارای برازش کامل است اما این گونه برازش های خوب زائد و کم مایه بوده و از نظر علمی نشانه غیرمفید بودن مدل است.

در مدل زبرمانند، درجه آزادی مثبت بوده و در آن هم پارامترها تخمین زده می شوند و هم شاخص های برازش مدل محاسبه می شوند. در واقع محققین می بایست مدل های زیرمانند یا همانند خود را به مدل زبرمانند تبدیل کنند.

سطح سنجش متغیرها

برنامه های مدل یابی معادلات ساختاری بر این فرض استوار هستند که متغیرهای وابسته و میانجی به گونه پیوسته توزیع شده باشند. در مورد داده های رتبه ای (ترتیبی)؛ اگر تعداد طبقه های رتبه ای ۵ یا بیشتر باشد، احتمالاً می توانید با آن ها (البته با کمی خطا) مانند داده های فاصله ای رفتار کنید.

در مورد داده های اسمی؛ بیشتر برنامه های مدل یابی معادلات ساختاری در حال حاضر نمی توانند با متغیرهای وابسته اسمی عمل کنند. تنها راه کاربرد آن ها این است که آن ها را دو ارزشی کنیم یا آن ها را شکل متغیرهای مجازی به کار ببریم (هومن، ۱۳۸۷: ۳۷).

تعداد متغیرهای مدل

قاعده قطعی برای تعیین تعداد متغیرهای یک مدل وجود ندارد، اما عده ای معتقدند که در یک مدل نباید بیش از ۲۰ متغیر وارد کرد که در این صورت ۵ یا ۶ متغیر به عنوان متغیرهای نهفته و هر متغیر نیز ۳ تا ۴ شاخص (متغیر آشکار) را به خود اختصاص خواهد داد. افزایش تعداد متغیرهای مدل مسائلی را در پی خواهد داشت: نخست این که هر چه مدل طراحی شده پیچیده باشد دستیابی به برازش مطلوب مدل مشکل می شود و دوم این که هر چه تعداد متغیر در یک مدل بیشتر باشد باید حجم نمونه نیز افزایش یابد (کلانتری ۲۶-۲۷). از سوی دیگر، برخی مطالعات نشان داده اند که افزایش تعداد شاخص ها برای سنجش هر متغیر نهفته، به ثبات و اعتبار مدل سنجش کمک می کند. در مجموع باید یک تعادل مناسبی از نظر تعیین تعداد متغیرها در مدل مدنظر قرار گیرد. همچنین باید در نظر داشت که هر چه مدل طراحی شده پیچیده تر باشد دستیابی به برازش مدل مشکل تر می شود. در مورد تعداد متغیرهای مشاهده شده برای سنجش هر متغیر نهفته باید خاطر نشان کرد که افزایش تعداد متغیرهای مشاهده شده برای سنجش هر متغیر مشاهده شده به ثبات و اعتبار مدل کمک می کند. (کلانتری، ۱۳۸۷: ۴۶-۴۸).

خطی بودن رابطه بین متغیرها

تکنیک مدل یابی معادلات ساختاری در گام اول فقط جهت بررسی رابطه خطی بین متغیرها طراحی شد. رابطه خطی بین متغیرها را می توان از طریق ایجاد نمودار پراکندگی (Scatter Plots) بین دو متغیر بررسی کرد. این بدین معناست که قبل از آزمون مدل می بایست از وجود رابطه خطی بین متغیرهای پنهان اطمینان حاصل کرد. در سال های اخیر، مدل یابی معادلات ساختاری غیرخطی نیز مورد توجه قرار گرفته است. مدل یابی معادلات ساختاری غیرخطی امتیازات بسیاری در مقایسه با تحلیل مبتنی بر متغیرهای آشکار دارد. با این وجود، این رویکرد، با پیچیدگی های بیشتری در اجرا مواجه بوده و مسائل روش شناختی متفاوتی نیز در مقایسه با تحلیل رگرسیون چندگانه دارد (Dimitruk et al., 2007). اکثر اثرات غیرخطی مورد بررسی، شامل اثرات تعاملی و اثرات درجه دوم (سهمی) می شوند. اثر تعاملی دلالت بر رابطه بین یک متغیر پیش بین و یک متغیر ملاک دارد که به وسیله ی یک متغیر پیش بین دوم، این رابطه ضعیف یا قوی می شود. اثر درجه دوم نیز اشاره به رابطه منحنی بین دو متغیر دارد که در واقع این رابطه به شکل U است (Teo & Khine, 2009). به نظر می رسد هنوز نرم افزارهای رایج مدل سازی، نمی توانند به طور خودکار به آزمون روابط غیرخطی بپردازند (به عنوان نمونه نگاه کنید به Bentler, 2006:15).

علّیت در مدل سازی

تکنیک مدل سازی نمی تواند روابط علی را از روابط صرف (همبستگی) تشخیص دهد. بسیاری از پژوهشگران و کاربران مدل سازی بر این باورند که این تکنیک می تواند روابط یا روابط تفکیکی (جزئی) در بین متغیرهای آشکار یا متغیرهای مکنون را به روابط علی تبدیل کند. باید دانست که تایید یک رابطه در مدل و معنی دار شدن آن، به این معنا نیست که رابطه علی وجود دارد. دانکن (۱۹۹۶) در معرفی تحلیل مسیر یا مدل سازی معادلات ساختاری به جامعه شناسی و علوم اجتماعی نقش داشت او بیان می کند که: "تکنیک تحلیل مسیر (مدل سازی معادلات ساختاری) بر مشکلات تفسیر تاکید دارد و روش مناسبی برای کشف علّیت نیست (Morgan, 2013:311).

در پاسخ به این سوال که آیا تکنیک مدل سازی معادلات ساختاری روابط علی را تایید می کند یا خیر باید گفت که پاسخ این سوال فاصله بزرگی است که بین "ایجاد علّیت"، که نیازمند تجربه های مداخله گرایانه (و با دستکاری) دقیق است و "تفسیر پارامترها به عنوان اثر علی"، که می تواند مبتنی بر دانش عملی محکم و یا مبتنی بر تجربه های قبلی مرتبط باشد که از سوی سایر پژوهشگران حاصل شده است، دیده می شود (Pearl, 2012;1).

مبنای استنباط علی از مدل سازی بر مفروضات نظری، دانش علمی و مطالعات پیشین استوار است. در واقع اعتبار مدل سازی به اعتبار مفروضات علی هر تحقیق بستگی دارد.

ملاحظات‌ی در مورد ماهیت مدل

به دلایل متعدد، غیرمنطقی است اگر انتظار داشته باشیم یک مدل ساختاری به گونه کامل برازش یابد. یک مدل ساختاری با روابط خطی فقط یک تقریب است. بعید است جهان خطی باشد. روابط حقیقی بین متغیرهای احتمالاً غیرخطی است. علاوه بر این بسیاری از مفروضه های آماری نیز تا حدودی زیر سؤال و محل تردید است. پرسش حقیقی این نیست که «آیا این مدل به گونه کامل برازش دارد؟»، بلکه این است که «آیا این مدل به اندازه کافی برازش دارد که تقریب مفیدی برای واقعیت، و یک تبیین مستدل و منطقی از روندهای موجود در داده ها باشد؟» مدل های معادلات ساختاری را هرگز نمی توان به گونه مطلق پذیرفت؛ تنها می توان آن ها را رد نکرد (هومن، ۱۳۸۷: ۱۵). یعنی داده ها به گونه مثبت یک مدل را تأیید نمی کند، بلکه فقط نمی تواند آن را رد کند. این مسئله موجب می شود که پژوهشگران، یک مدل به خصوص را به گونه موقتی بپذیرند، زیرا اذعان دارند که در بیشتر موارد، مدل های هم ارز و معادلی وجود دارد که به همان اندازه مدلی که به گونه موقت پذیرفته اند، با داده ها برازش دارد. یک مدل که برازش می یابد، فقط در معنای موجه بودن در یک جامعه و در شرایط یک مجموعه از داده های نمونه به خصوص است.

اهمیت نظریه در مدل

با توجه به بحث قبل، ضروری است که فرآیند تحلیل در کاربرد مدل یابی معادلات ساختاری از طریق نظریه اساسی هدایت شود، و در غیر این صورت پایه ای برای قبول یا ردّ مدل های تجربی رقیب وجود ندارد. فورنل (۱۹۸۳) اهمیت فوق العاده این مطلب را خاطر نشان ساخته و بیان می کند که «تحلیل ساختار کوواریانس، بدون دانش نظری، یک کار بدون مرز در تجربه گرایی است که سهمی در پیشرفت علمی ندارد (همان، ۱۳۸۷). اصل مطلب در این جاست که قبل از هر نوع تحلیل آماری پرطمطراق باید مدلی بسازیم. تحلیل آماری کار مدل سازی را انجام نمی دهد. آماره ها و تحلیل های پیچیده جای استدلال نظری محکم را نمی گیرند؛ بلکه خود بر آن متکی اند (دواس، ۱۳۷۶: ۲۲۳).

ماهیت تاییدی رویکرد مدل سازی، نیازمند دانش عمیق و دقیقی از حوزه مورد مطالعه است. اکثریت مدل های معادلات ساختاری مبتنی بر نظریه های موجود در حوزه مورد مطالعه هستند سازه های (متغیرهای مکنون) می بایست در مدل اندازه گیری به طور روشنی تعریف شوند که هم شامل تعداد ابعاد تعریف شده و هم شامل متغیرهای آشکار هر سازه است. با توجه به اهمیت نظریه و نیز اهمیت پایایی و اعتبار در این رویکرد، ابتدا بایستی مدل اندازه گیری مورد آزمون قرار بگیرد و در صورتی که مدل اندازه گیری بدست آمده رضایت بخش بود و اعتبار و پایایی ابزار مورد تایید قرار گرفت، مدل ساختاری نیز به مدل اندازه گیری اضافه شود و آزمون مدل کلی (مدل معادلات ساختاری) مورد آزمون قرار بگیرد (Bartholomew et al., 2008:302).

بخش پنجم: نرم افزارهای رایج مدل سازی

در حال حاضر نرم افزارهای متعددی برای مدل سازی وجود دارند که چهار نرم افزار LISREL، Amos، EQS، Mplus را می توان از نرم افزارهای رایج و توانمند مدل سازی برشمرد. در مقام مقایسه نرم افزارهای فوق باید گفت که نمی توان از بین چهار نرم افزار ذکر شده یکی را به عنوان بهترین انتخاب کرد. بلکه علایق، توانایی های اولیه و اهداف پژوهشگر است که می تواند در انتخاب یک نرم افزار برای وی نقش تعیین کننده داشته باشد، ضمن این که پژوهشگر می تواند مطمئن باشد که عمومی ترین نیازهای پژوهشی وی توسط کلیه نرم افزارهای ذکر شده مرتفع گردد. لازم به ذکر است که دو نرم افزار LISREL و Amos در ایران، رایج تر از نرم افزارهای دیگر هستند. همچنین تمامی نرم افزارهای ذکر شده قابلیت بهره گیری از داده خام (به جای ماتریس کوواریانس) را نیز دارند.

جدول شماره ۱- معرفی اجمالی برخی نرم افزارهای رایج در مدل سازی

نام برنامه	نام بنیانگذار	قابلیت های ویژه
LISREL	Karl Jöreskog & Dag Sörbom	تحلیل های رگرسیونی مانند رگرسیون پرابیت و لجستیک. امکان برآورد پارامترها با روش حداقل مربعات دو مرحله ای. انجام خودگردان سازی.
Amos	Jim Arbuckle	آزمون مدل ها برای نمونه های مختلف و مقایسه نتایج کاربرد آسان. برآورد پارامترها با روش بیزی (زمانی که متغیرها از نوع رتبه ای یا اسمی هستند). انجام خودگردان سازی.
EQS	Peter M. Bentler	تعیین میزان تاثیر داده های پرت بر ضرایب همبستگی. انجام آزمون های آماری معمول: رگرسیون، تحلیل واریانس، همبستگی و انجام آزمون های ناپارامتریک. بررسی اعتبار پارامترها با استفاده از شبیه سازی.
Mplus	Muthen, L.K. & Muthen, B.O.	امکان کار بر روی متغیرهای دومقوله ای، رتبه ای و مقوله ای نامرتب (اسمی). برآورد پارامترها با روش بیزی.

بخش ششم: معرفی روش حداقل مجذورات جزئی

به طور کلی، برای برآورد پارامترها در مدل یابی معادلات ساختاری می توان از دو روش استفاده کرد: روش مبتنی بر کوواریانس و روش مبتنی بر واریانس.

مدل یابی معادلات ساختاری مبتنی بر کوواریانس به ویژه در طول چند دهه گذشته اهمیت زیادی پیدا کرده است. این امر باعث شده بسیاری از محققان علوم اجتماعی، روش مبتنی بر کوواریانس را به اشتباه مترادف با اصطلاح مدل یابی معادلات ساختاری در نظر بگیرند. نرم افزارهای جدول ۱ برای مدل یابی معادلات ساختاری با روش مبتنی بر کوواریانس طراحی شده اند. در مدل یابی معادلات ساختاری مبتنی بر کوواریانس با استفاده از تابع حداکثر درست نمایی تلاش می شود تا تفاوت بین کوواریانس های نمونه که به وسیله مدل نظری پیش بین می شود، به حداقل برسد. بنابراین در این روش، از طریق پارامترهای برآورد شده، ماتریس کوواریانس داده های گردآوری شده بازتولید می شوند. علاوه بر این، رعایت مفروضه های نرمال بودن چند متغیرها و استقلال مشاهده ها از یکدیگر، شرط اساسی مدل یابی معادلات ساختاری است. روش های مبتنی بر کوواریانس در بین روش های مدل یابی معادلات ساختاری، به مراتب شناخته شده-تر هستند (سید عباس زاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۵).

کمترین مجذورات جزئی (Partial Least Square) روش نسبتاً جدیدی از معادلات ساختاری رگرسیونی است. این روش هم برای رگرسیون تک متغیری و هم برای رگرسیون چند متغیری و با چند متغیر وابسته کاربرد دارد. PLS بر اساس برآورد کمترین مجذورات با هدف اولیه ی بهینه ساختن تبیین واریانس در سازه های وابسته مدل ساختاری است. به بیان دیگر، کمترین مجذورات جزئی برخلاف مدل سازی معادلات ساختاری مبتنی بر کوواریانس (SEM) به جای بازتولید ماتریس کوواریانس تجربی، بر بیشترین واریانس تبیین شده متغیرهای وابسته به وسیله متغیرهای مستقل تمرکز دارد. این روش همانند SEM از یک بخش ساختاری که ارتباط بین متغیرهای مکنون را نشان می دهد و یک قسمت اندازه گیری که نحوه ارتباط متغیرهای مکنون و نشان گرهای آنان را منعکس می کند تشکیل شده است.

این روش برای تحلیل مدل های بسیار پیچیده ای به کار می رود که اطلاعات نظری کمی درباره آنان وجود دارد، یا این که هدف از آزمون این مدل ها پیش بینی یا کاربرد است. برخلاف روش مبتنی بر کوواریانس، این روش پیش بینی مدار بوده، به نظریه قوی نیاز ندارد و به عنوان روش ساخت نظریه به کار می رود.

همچنین روش کمترین مجذورات جزئی هر دو متغیرهای مکنون تشکیل دهنده^۴ و انعکاسی^۵ را می پذیرد اما روش مبتنی بر کوواریانس، فقط متغیرهای مکنون انعکاسی را قبول دارد (همان، ۷۹).

Formative Indicator^۴
Reflective Indicator^۵

روش PLS برای مقابله با داده های خاص مانند حجم اندک داده ها، داده های گم شده و هم خطی بین متغیرهای مستقل طراحی شده است. این روش به عنوان یک روش پیش بینی و تبیینی و تفسیری معرفی می شود. استفاده از این روش قبل از استفاده از روش های تفسیری مانند رگرسیون خطی چندگانه یا SEM توصیه می گردد. کمترین مجذورات جزئی در علوم پایه به ویژه شیمی و غیره، یعنی در علومی که تعداد زیادی از متغیرهای همبسته و تعداد محدودی از مشاهده شده ها وجود دارد، کاربرد فراوانی دارد.

نرم افزارهای Smart PLS ، Visual PLS و PLS Graph بر مبنای روش کمترین مجذورات جزئی طراحی شده اند و می توانند توسط محققین به کار گرفته شوند.

نتیجه گیری

تکنیک مدل یابی معادلات ساختاری جهت حل محدودیت های روش های پیشین آماری ایجاد شده است و دارای قابلیت های متعددی است و به ویژه به دلیل قابلیت آن در تحلیل روابط بسیار پیچیده، به طور روزافزونی مورد توجه محققین رشته های علوم اجتماعی و رفتاری قرار گرفته است. این روش با وجود قابلیت های خاصی که دارد نیازمند برقراری مفروضات و پیش شرط های معینی است که می بایست از سوی محققین مورد توجه قرار بگیرد. این روش نیازمند تدوین مدل اولیه ای بوده که می بایست با توجه به مبانی نظری و پیشینه تجربی تدوین گردد و به کمک داده های تجربی گردآوری شده، آزمون شود. امروزه نرم افزارهای متعددی جهت مدل سازی ساخته شده است که تمامی آن ها مانند LISREL، Amos، EQS، Mplus دارای کاربری آسان بوده و هر کدام از آن ها می توانند نیازهای عمومی محققین را برآورده نمایند.

منابع:

- Bartholomew, D.J., Steele, F., Moustaki, I., and Galbraith, J.I. (2008) *Analysis of Multivariate Social Science Data*, Tayloe & Francis Group, United States
 - Bentler, P.M. (2006) *EQS 6 Structural Equations Program Manual*. Encino, CA: Multivariate Software, Inc.
 - Dimitruk, P., Schermelleh-Engel, K., Kelava, A., & Moosbrugger, H. (2007). Challenges in nonlinear structural equation modeling. *Methodology*, 3, 100–114.
 - Hoyle, Rick h. (1995) *Structural Equation Modeling: Concepts, Issues, and Applications*, SAGE.
 - Khin, Myint Swe. (2013) *Application of Structural Equation Modeling in Educational Research and Practice*, SENSE PUBLISHERS.
 - Morgan, Stephen L., ed. (2013) *Handbook of Causal Analysis for Social Research*. New York: Springer.
 - Pearl, Judea (2012) *The Causal Foundations of Structural Equation Modeling*. University of California, Los Angeles.
 - Teo, Timothy., & Khine, M.S. (2009) *Structural Equation Modeling in Educational Research Concepts and Applications*, Sense Publishers
-
- دواس، دی. ای (۱۳۷۶). پیمایش در تحقیقات اجتماعی، ترجمه هوشنگ نایبی، تهران: نشر نی.
 - سرمد، زهره و بازرگان، عباس و حجازی، الهه (۱۳۸۵) روش های تحقیق در علوم رفتاری، تهران: آگاه.
 - سید عباس زاده، میرمحمد و امانی، جواد و خضری آذر، هیمن و پاشوی، قاسم (۱۳۹۰). مقدمه ای بر مدل یابی معادلات ساختاری به روش PLS و کاربرد آن در علوم رفتاری، انتشارات دانشگاه ارومیه.
 - قاسمی، وحید (۱۳۹۲) مدل سازی معادله ساختاری در پژوهش های اجتماعی با کاربرد Amos Graphics، تهران: جامعه شناسان.
 - قاضی طباطبایی، محمود (۱۳۷۴) مدل های ساختار کوواریانس یا مدل های لیزرل در علوم اجتماعی، مجله جغرافیا و برنامه ریزی (علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز)، زمستان، شماره ۲.
 - کلانتری، خلیل (۱۳۸۷) مدل سازی معادلات ساختاری در تحقیقات اجتماعی-اقتصادی، تهران: فرهنگ صبا
 - هومن، حیدرعلی (۱۳۸۷) مدل یابی معادلات ساختاری با کاربرد نرم افزار لیزرل، تهران: انتشارات سمت

مرکز تحلیل آماری خوارزمی

انجام تحلیل آماری طرح های پژوهشی، پایان نامه کارشناسی ارشد، رساله دکترا و مقالات ISI
با نرم افزارهای Eviews – PLS – AMOS – LISREL – SPSS ، شبکه های عصبی با Matlab و ...

ایمیل: kh.stat@yahoo.com

سایت: www.kharazmi-statistics.ir

رامین کریمی: ۰۹۱۲۷۶۹۴۰۶۶

مؤلف کتاب "راهنمای آسان تحلیل آماری با SPSS"