Journal of Clinical Psychology & Personality
Vol. 19, No. 1, Serial 36, Spring & Summer 2021
DOI: https://dx.doi.org/10.22070/cpap.2021.13734.1037

Research Article

Network analysis in psychological research with application and interpretation of R software

Authors

Hojjatollah Farahani[1*]
1. Department of Psychology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (Corresponding Author)

Abstract

Receive Date:
10/04/2020

Accept Date:
01/10/2020

Network analysis is an advanced statistical and graphical method which visualizes the relationship between multiple variables. The purpose of this research is to describe the analysis of computational psychological networks. Psychological network analysis helps researchers find the most important variables and relationships in a complex system. The latest estimation tools included accuracy using Bootstrap method, the degree of stability of focal indices, linkage comparison in psychological networks, and estimated indices. In addition, two new statistical methods called stationary correlation coefficient and the bootstrapped difference test were presented to compare edge-weights difference and focal indices. The statistical population of the research included 368 (120 male and 248 female) students of Tehran universities in the academic year of 2019-20. Then the anxiety of participants was measured. Network analysis using R showed that nodes 3, 6 and 11 are the most important nodes and the relationships between nodes 12-18 and 17-18 had the strongest positive relationships. Bootstrap method showed that the parameters and focal indicators of the network provide the correct estimation. The practical and interpretive steps of the mentioned theoretical foundations were presented in practical formats with anxiety data using R statistical software. The design of this article is based on theoretical and practical implications.

Keywords

Network Analysis, Psychological Network, R Software, Bootstrap, Anxiety.

Corresponding Author's E-mail

h.farahani@modares.ac.ir

دوفصلنامه علمی «روان‌شناسی بالینی و شخصیت»
دوره ۱۹، شماره ۱، پیاپی ۳۶، بهار و تابستان ۱۴۰۰، صص.: ۲۰۰-۱۹۳
DOI: https://dx.doi.org/10.22070/cpap.2021.13734.1037

مقاله پژوهشی

تحلیل شبکه در پژوهش های روانشناختی همراه با کاربست و تفسیر نرم افزار R

نویسندگان

حجت اله فراهانی

۱. گروه روانشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

چکیده

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۰۱/۲۲

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۷/۱۰

چکیده: تحلیل شبکه یک روش آماری پیشرفته و گرافیکی که امکان دیداری سازی روابط میان متغیرهای متعدد را فراهم می سازد. هدف از این پژوهش، نخست توصیف تحلیل شبکه‌های روان‌شناختی محاسباتی است.تحلیل شبکه ی روانشناختی دریافتن مهمترین متغیرها وروابط در یک سیستم پیچیده به پژوهشگران کمک می رساند.نوین‌ترین ابزارهای برآورد، درستی‌آزمایی با روش بوت استرپ، میزان برجایی شاخص‌های کانونی، مقایسه پیوند در شبکه‌های روان‌شناختی و شاخص‌های برآوردشده آورده شدند. هم‌چنین، دو روش آماری نو موسوم به ضریب مانایی همبستگی و آزمون تفاوت بوتسترپ‌شده در مقایسه وزن یال‌ها و شاخص‌های کانونی آورده شدند.جامعه آماری پژوهش ۳۶۸(۱۲۰پسر و۲۴۸ دختر) دانشجوی دانشگاه های تهران درسال۱۹۹-۹۸ بودند که اضطراب اضطراب آنها اندازه گیری شد.تحلیل شبکه با استفاده از Rنشان داد که گره های ۳،۶و ۱۱ مهمترین گره ها هستند و روابط بین گره۱۲-۱۸ و۱۷-۱۸ قویترین روابط مثبت راداشتند ،روش بوتسترپ نشان داد که پارامتر ها و شاخص های کانونی شبکه درستی برآورد رانشان داد.
گام‌های اجرایی و تفسیری مبانی نظری گفته‌شده در قالب‌های کاربردی با داده‌های اضطراب با کاربست نرم‌افزار آماری R جملگی آورده شدند.پیرنگ این مقاله برپایه های نظری و تلویحات کاربردی است.

کلیدواژه‌ها

تحلیل شبکه، شبکه‌های روان‌شناختی، نرم‌افزار R، بوتسترپ، اضطراب

نشانی پست الکترونیکی نویسنده مسئول

h.farahani@modares.ac.ir

دوفصلنامه علمی **روان‌شناسی بالینی و شخصیت**، دوره ۱۹، شماره ۱، پیاپی ۳۶، بهار و تابستان ۱۴۰۰، صص.: ۲۰۲-۱۹۵.
Journal of **Clinical Psychology & Personality**, Vol. 19, No. 1, Serial 36, Spring & Summer 2021, pp.: 195-202.

مقدمه

روان‌شناسی علم بررسی رفتار و فرایندهای ذهنی است. رفتارها و فرایندهایی که به گونه ای یگانه و خام بررسی‌ناپذیرند. بررسی این فرایندها در یک نگاه ونگره باریک نه‌تنها هیچ روزنی به واقعیت آن‌ها نمی‌گشاید که مقصدی نابجا ومقصودی نادرست را پیش پای پژوهشگر می‌گذارد.

برای چیرگی بر این معضل، پژوهشگران حوزه روان‌شناسی بالینی، سلامت وشناختی کوشیده‌اند که نشان دهند که اثرهای متقابل پیچیده‌ای[1] میان عوامل زیست شناختی، روان‌شناختی و اجتماعی را به شیوه‌ای علمی در بوته آزمودن قرار دهند. مثلاً، در پژوهشی در مورد چاقی نگاشت پیش‌بینی[2] در انگلستان فراهم شد. دراین نگاشت ،بازنمایی فراگیری از سیستم پیچیده‌ای ارائه شده است، که در آن ۱۰۰ متغیر با بیش از ۱۰۰ مسیر با چاقی همبسته شده‌اند[۱].طراحان این نگاشت تصور کرده‌اند که چاقی ،زاده ی اثرهای درهم‌تنیده و متقابل میان پهنه گسترده‌ای از عوامل می‌باشد، از جمله، زیبایی جسمانی فرد، رفتار خوردن و الگوهای فعالیت جسمانی.[۱].همانگونه که می توان دریافت ،تفکر سیستمی در این پژوهش اهمیت ویژه دارد. سیستم نشان‌دهنده عوامل مرتبط و وابستگی درونی میان آن‌هاست که چاقی را آن‌گونه که مشاهده می‌کنیم، حاصل آورده است. متغیرها به مقوله‌های گونه‌گونی از عوامل علّی اجتماعی، فردی، محیطی و عوامل فعالیت جسمانی دسته‌بندی می‌شوند. این دیدگاه سیستمی و بررسی روابط متفاوت و گونه‌گون میان متغیرهای مرتبط با یک پدیده لزوم تحلیل‌های شبکه‌ای را بیش از پیش آشکار می‌سازد.

تحلیل شبکه در طی سالیان بسیار اخیر در علوم روان‌شناختی اهمیتی چند چندانی یافته است[۳-۱] .در این حوزه از پژوهش، رفتار روان‌شناختی یک سیستم پیچیده از کنش و واکنش‌های مولفه‌های روان‌شناختی و جز آن مفهوم‌سازی می‌شود.

پژوهشگران بسی کوشیده‌اند که این ساختار بالقوه که در آن، این مولفه‌ها اثرهای متقابل بر هم می‌گذارند را توصیف کنند و برای آن شبکه‌های روان‌شناختی برگزیده اند. شبکه‌های روان‌شناختی از گره‌ها[3] و یال‌ها[4] تشکیل شده‌اند. یک گره نشان‌دهنده متغیرهای مشاهده شده است و یال روابط آماری میان آن‌ها را نشان می‌دهد[۵،۴] .در شبکه‌های روان‌شناختی، گره‌ها نشان‌دهنده متغیرهای روان‌شناختی مختلف‌اند (مانند نگرش‌ها، شناخت‌ها، خلق، نشانه‌ها ، علائم و رفتار) و یال‌ها نشان‌دهنده روابط آماری مجهول‌اند (مانند همبستگی و روابط پیش‌بین) که این روابط بر اساس داده‌های پژوهشی برآورد می‌شوند[۵].

گره می‌تواند یک گویه یگانه از یک مقیاس، یک خرده مقیاس یا یک مقیاس ترکیبی باشد. این که پژوهشگر کدام را در پژوهش برگزیند به خواست و هدف پژوهشی و نوع داده‌ها برمی‌گردد. پژوهشگر باید کوشش کند تا با توجه به نوع داده‌ها مناسب‌ترین و مفیدترین درک از مسأله پژوهشی را به‌دست دهد. یال‌ها می‌تواند انواع متفاوتی از روابط باشد مانند همبستگی‌ها یا همبودی میان علائم[۵-۶].

باید توجه داشت که شبکه‌های روان‌شناختی به گونه چشمگیری متفاوت از دیگر ساختارهای شبکه‌ای است که نوعاً در نظریه گراف کاربرد دارند[۶]، مثلاً در شبکه‌های اجتماعی [۷].شبکه‌های بوم‌شناختی[۸]، گره‌ها موجودیت عینی[5] دارند (مانند فرودگاه، افراد، جانداران) و روابط عموماً مشاهده‌پذیر و معلوم‌اند (مانند روابط الکتریکی، روابط دوستانه، روابط متقابل)، حال آنکه در شبکه روان‌شناختی، شدت رابطه بین دو گره پارامتری است که از داده‌ها برآورد می‌شود. با افزایش حجم نمونه، پارامتر برآوردشده به گونه ای دقیق‌تر برآورد می‌گردد (به مقدار واقعی نزدیک‌تر می‌شود)، با این حال، باید توجه داشت نمونه‌های کوچک، درستی و دقت تحلیل شبکه‌های روان‌شناختی را به مخاطره می‌کشاند[۱،۲،۶،۸].

در شبکه روان‌شناختی، دو گونه یال وجود دارد:

۱) یال سودار[6] و

۲) ناسودار[7].

در یال سودار گره‌ها ، به گونه‌ای مرتبط می شوند که فلش سوی مشخصی را نشان می‌دهد که نشان‌گر اثری یک‌سویه است و یال ناسودار گره‌ها را بدون سوی مشخصی با یکدیگر مرتبط می‌سازد. شبکه ی روان‌شناختی سودار ممکن است چرخه‌ای[8] یا غیرچرخه‌ای[9] باشد.

در شبکه ی روان‌شناختی سودار چرخه‌ای، یال‌های سودار از یک گره معین به آن گره پایان می‌پذیرند، ولی، درشبکه‌های روان‌شناختی سودار غیرچرخه‌ای، نمی‌توان یالی را که از یک گره آغاز و دگرباره به آن گره پایان گرفته است را در شبکه یافت[۹،۱۰،۱۱].

شبکه‌های سودار می‌تواند ساختار سببی[10] داشته باشد[۱۳-۱۲]، چنین شبکه‌ای مفروضه ای بسیار دشواری دارد و آن این‌که همه متغیرهای دارنده‌ی اثری علّی در مدل،

[1] Complex interaction
[2] Foresight map
[3] nodes
[4] edges
[5] entities
[6] directed
[7] undirected
[8] cyclic
[9] acyclic
[10] Causal structure

اندازه‌گیری شده بوده و زنجیره‌ی علّی، چرخه‌ای نیست (یک متغیر از هیچ مسیری نمی‌تواند علت خود باشد[۱۳-۱۲].

اگرچه بررسی پیشینه‌های پژوهشی در دو دهه گذشته نشان‌گر گزارش فراوان گراف‌های سودار غیرچرخه‌ای[1] (DAGs) هستند[۱۳]،اما مفروضه غیرچرخه‌ای ممکن است در بسیاری از بافت‌های روان‌شناسی توجیه‌پذیر نباشد و از دیگر سو، در شبکه‌ی سودار شکل دیگری نیز رخ می‌نمایاند و آن این که مانند مدل‌یابی معادله ساختاری، پای مدل‌های هم‌ارز[2] (هم‌سنگ) مختلفی در میان می‌آید که می‌توانند الگوی داده‌ای را تبیین کنند [۱۲-۱۱].در آخرین چالش در این خصوص، فرد و کرامر (۲۰۱۷) بیان می‌کنند که با وجود امکان‌پذیری بسیاری از مسیرهای علّی روان‌شناختی در شبکه، علّی دانستن ماهیت چنین روابطی مستلزم شواهد بسیار قوی‌تری است[۱۴].

یال، شدت و جهت رابطه میان گره‌ها را نشان می‌دهد، یال ممکن است مثبت (همبستگی / همپراکنشی مثبت، یامنفی (همبستگی / پراکنش منفی) را نشان دهد. در ترسیم این دو رابطه، از خطوط رنگی متفاوتی استفاده می‌شود.روابط مثبت عموماً به رنگ آبی یا سبز و روابط منفی قرمز ترسیم می‌گردند. یال‌ها می‌توانند وزنی یا غیروزنی باشد. در یک یال وزنی، شدت رابطه بین دو متغیر با تغییر در ضخامت و غلظت رنگ آن یال نشان داده می‌شود. خطوط ضخیم‌تر و پررنگ‌تر نشان‌دهنده روابط قوی‌تر میان گره‌ها هستند. از دیگر سو، یال غیروزنی نشان‌دهنده هستی / نیستی یک رابطه است، اگر رابطه‌ای نباشد، دو گره یالی به هم پیوند داده نمی شوند[۱۰-۹].

تحلیل شبکه‌های روان‌شناختی

تحلیل درشبکه‌های روان‌شناختی در سه گام سامان می‌گیرد:

۱) برآورد مدل آماری از داده‌ها که بر آن اساس برخی پارامترها به عنوان یک شبکه‌ی وزنی بین متغیرهای مشاهده‌شده نشان داده می‌شوند.

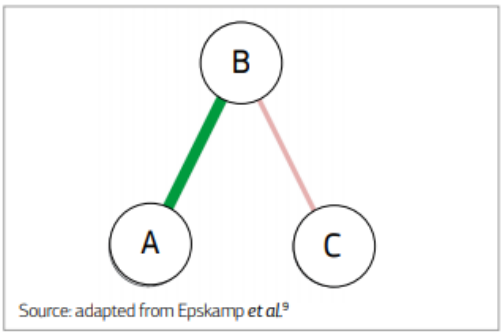
۲) تحلیل شبکه وزنی به‌دست‌آمده با استفاده از شاخص‌های محاسباتی برگرفته از نظریه گراف [۹،۱۴]، برای تعیین مهم‌ترین گره‌های شبکه

۳) درستی‌آزمایی پارامترها و شاخص‌های شبکه روان‌شناختی

در ادامه به بررسی و شرح این گام‌ها پرداخته می‌شود.

برای برآورد دقیق‌تر و قابل تفسیرتری از شبکه، مدل شبکه‌ای که عمدتاً استفاده می‌گردد مدل گرافیکی گوسی[3] است [۱۵،۱۶]،که در این مدل گره‌هاهمان متغیرهای مشاهده شده‌اند و یال‌ها ضرایب همبستگی سهمی[4] بین دو متغیر پس از کنترل دیگر متغیرهای موجود در شبکه هستند. این شبکه‌ها به گراف‌های کانونی[5] یا مدل‌های گرافیکی گوسی شهرت یافته‌اند و دسته‌ای دیگر از مدل‌های آماری ، میدان تصادفی زوجی مارکوف[6] هستند. میدان تصادف زوجی مارکوف (PMRF) فاقد مدل‌های هم‌ارز است، در نتیجه به روشنی تعریف شده و ابهام نداشته و قابل تغییر است. اگر داده‌ها دودویی باشند، مدل PMRF مناسب برای برآورد، مدل ایسینگ[7] نامیده می‌شود و اگر داده‌ها از توزیع نرمال چندمتغیری پیروی کنند. مدل PMRF مناسب مدل گرافیکی گوسی (GGM) نامیده می‌شود که در آن‌ها یال‌ها را می‌توان همبستگی سهمی در نظر گرفت.

نمونه‌ای از این مدل را در شکل ملاحظه می‌کنید که در آن ۳ گره و ۲ یال وجود دارد[۱۵،۱۷].



شکل۱. همبستگی سهمی بین گره های A و B و C و B

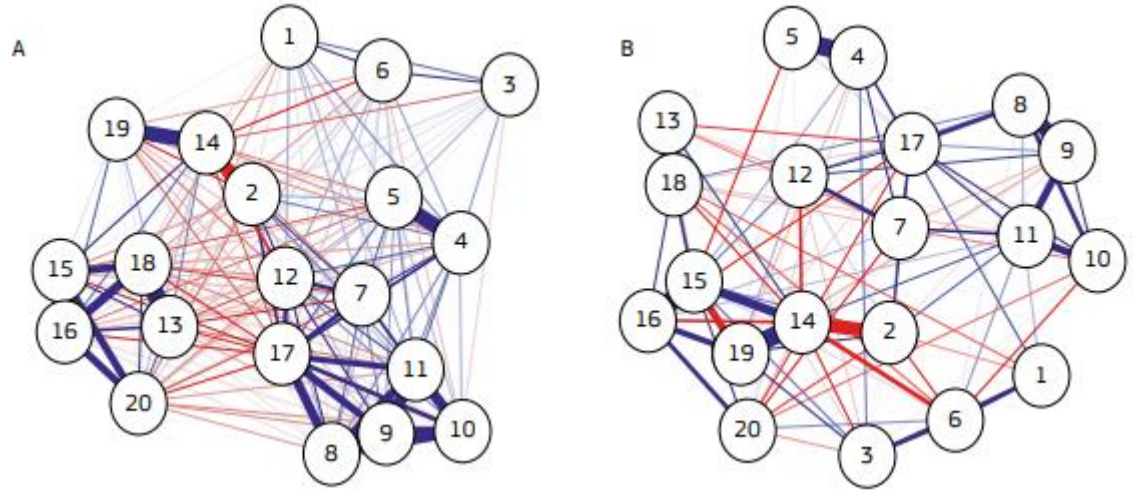
نبود یال بین ۲ گره نشان می‌دهد که متغیرها مشروط مستقل‌اند. گره A با B رابطه مثبت و قوی دارد و این رابطه با C منفی است. گره‌های A و C با کنترل گره B ناهمبسته‌اند.

در این مدل، همبستگی چندخانه‌ای[8] برای برآورد رابطه بین ۲ متغیر رتبه ای و همبستگی چندرشته‌ای[9] برای آن هنگام که یک متغیر رتبه‌ای و دیگری پیوسته باشد و همبستگی پیرسون برای دو متغیر کمّی (پیوسته یا گسسته) استفاده می‌شود، مفروضه اصلی در همبستگی و همبستگی سهمی این است که توزیع متغیر نرمال باشد و اگر این مفروضه احراز نشود معمولاً از تبدیل‌های غیرخطی داده‌ها استفاده می‌شود، در برنامه R که در تحلیل شبکه از آن

[1] Directed acyclic graph
[2] equivalent
[3] Gaussian graphical model
[4] partial correlation coefficient
[5] cconcentration graphs
[6] Pair wise Markov random field
[7] Ising
[8] polychoric correlation
[9] polyserial

دوفصلنامه علمی **روان‌شناسی بالینی و شخصیت**، دوره ۱۹، شماره ۱، پیاپی ۳۶، بهار و تابستان ۱۴۰۰، صص.: ۲۰۲-۱۹۵.
Journal of **Clinical Psychology & Personality**, Vol. 19, No. 1, Serial 36, Spring & Summer 2021, pp.: 195-202.

استفاده می‌شود، این تابع nonparanormal distribution نامیده می‌شود[۱۵و۱۷].



شکل۲. مقایسه شبکه با برآورد همبستگی سهمی (A)و gLasso(B)[۹].

کاربست عملگر گزینش و انقباض حداقل مطلق[۱] (Lasso) در برآورد پارامتر یال‌های شبکه به کنترل روابط کاذب[۲] و به تفسیر شبکه‌های روانشناختی کمک می‌رساند .برآوردگر Lasso روشی برای انتخاب و میزان سازی متغیرهاست که درستی مدل آماری را افزون می‌سازد. برای آشنایی با رگرسیون‌های انقباضی به مقاله فراهانی مراجعه کنید[۱۶].

این روش به طور فزاینده‌ای مورد اقبال پژوهشگران تحلیل شبکه‌های روان‌شناختی است، از رهگذر این روش، به شبکه‌ای با شمارکمینه ای از یال می‌توان دست یافت که رابطه میان متغیرها را تبیین کند.

برآوردگر Lasso گونه‌های مختلفی دارد. یکی از این برآوردگرها که نرم‌افزار R یا Rstudio وجود دارد که gLasso) (graphical Lasso) است. gLasso ضرایب همبستگی سهمی مرتبط را انتخاب می‌کند و مقادیر اندک صفر می‌شوند که به شبکه‌ای چابک[۳] می‌انجامد(شکل۲).

در Lasso از تنظیم پارامتر برای میزان سازی استفاده می‌شود. این تنظیم پارامتر با انتخاب کمینه‌سازی ملاک اطلاعات بیزی تعمیم‌یافته[۴] (EBIC) می‌تواند انجام شود[۱۵،۱۸]. (EBIC) در مدل Ising به خوبی عمل می‌کند.

هرچه تعداد گره‌ها بیشتر باشد، تعداد یال‌ها و پارامترهای برآوردشده بیشتر می‌شود،مثلا، در شبکه‌ای با ۱۰ گره ۵۵ پارامتر باید برآورد شوند.با افزایش حجم نمونه، پارامترهای برآوردشده درست‌تر (نزدیک‌تر به واقعیت) می‌شوند. بر اساس مبانی نظری نمونه‌ای ۵۰۰ یا بیشتر برای تحلیل شبکه‌ای با برآورد همبستگی سهمی مناسب است. اما با برآوردگر gLasso این نمونه کوچک‌تر است، زیرا میزان این برآورد در تعداد پارامترهای لازم برای برآورد همپراکنش در داده‌ها کاستی می‌یابد.

بر اساس ملاک کلین[۵](۱۹۹۸) به ازای هر پارامتر ۵ تا ۲۰ مورد لازم است و ۵ مورد کم و ۲۰ بسیار ایده‌آل است. این ملاک در تعیین حجم نمونه در تحلیل مسیر و مدل‌یابی معادله ساختاری کاربرد دارد[۱۸].

شاخص‌های کانونی

این شاخص‌ها اهمیت گره‌ها را در یک سیستم نشان می‌دهند. هنگام ارزیابی گردآیه ای از متغیرها، می‌توان دریافت که همه‌ی آن‌ها تناسب یکسانی در یک مدل ندارند و شاخص‌های کانونی در یافتن متغیرهای بااهمیت و نقشی که آن‌ها در ساختار شبکه دارند به پژوهشگران این حوزه کمک می‌رساند. شاخص‌های کانونی همچنین در پیش‌بینی و مدل‌سازی فرایند شبکه‌ای مختلف کاربرد می‌یابد.

شناخته‌شده‌ترین شاخص‌های کانونی در شبکه‌ها عبارت‌اند از:

۱) بینابینی[۶] (درجه ارتباط[۷]) نشان‌دهنده شماروماردی است که یک گره بخشی از کوتاه‌ترین مسیر بین همه زوج گره‌های مرتبط در شبکه است.

۲) نزدیکی[۸] شاخصی است که با معکوس‌سازی فاصله یک گره با همه گره‌های دیگر در شبکه به‌دست می‌آید، یعنی،

[1] Least absolute shrinkage and selection operator(LASSO)
[2] spurious
[3] Parsimonious network
[4] extended Bayesian Information Criterion(EBIC)
[5] Klein
[6] betweenness
[7] Degree of connectivity
[8] closeness

هرچه گره در شبکه کانونیر باشد، نزدیکی آن به دیگر گره‌ها بیشتر است.

۳) قدرت[1] این شاخص از مجموعه همه مسیرهایی به‌دست می‌آید که یک گره را به دیگر گره‌ها مرتبط می‌کند.این شاخص برابر با میانگین وزنی همبستگی هاست[۱۴،۱۸].

درستی‌آزمایی شبکه

تاکنون توصیفی گذرا از چگونگی برآورد شبکه در روان‌شناسی ارائه شد. پس از برآورد پارامترهای شبکه و شاخص‌های کانونی، ضرورت دارد که پژوهشگر درستی استنباط شبکه را آزمون کند. برای درستی‌آزمایی شبکه‌های روان‌شناختی سه گام لازم است:

۱) برآورد درستی وزن‌های یال با روش بوتسترپ[2]، ۲) بررسی مانایی[3] (نظم) شاخص‌های کانونی با در نظر گرفتن بخشی از داده‌ها و ۳) اجرای آزمون تفاوت بوتسترپی[4] یعنی وزن یال هاو شاخص‌های کانونی برای آزمودن این که آیا این شاخصها وپارامترها به طور معناداری از هم متفاوت‌اند یا خیر[۸،۹].

درستی وزن یال ها

برای تعیین تغییرپذیری وزن یال‌ها، می‌توان فاصله اطمینان ٪۹۵ پارامتر را برآورد کرد. به این منظور، به توزیع نمونه‌گیری آماره مورد بررسی نیاز است. هرچند، حصول چنین توزیع نمونه‌گیری‌ای برای دستیابی به آماره‌های پیچیده‌تر مانند شاخص‌های کانونی می‌تواند دشوار باشد، اما راهی هموار برای تعیین فاصله اطمینان روش بوتسترپ است. در بوتسترپ مدلی تحت داده‌های نمونه‌ای یا شبیه‌سازی، به شمارفراوان برآورد می‌شود و آماره موردنظر برآورد می‌گردد،آنگاه، فاصله اطمینان $1-\alpha$ درصدی برای مقادیر بوتسترپ تعیین می‌شود. این فاصله، فاصله اطمینان بوتسترپی نام گرفته است .درپژوهشها،به طور عمده از روش بوتسترپ ناپارامتری استفاده می‌شود که مشاهدات در داده‌ها با واگردانی باز نمونه‌گیری می‌شوند تا پایگاه داده‌ای جدیدی حاصل گردد[۸،۱۱].

مانایی شاخص‌های کانونی

در حالی که برای وزن یال‌ها می‌توان فاصله اطمینان بوتسترپی را تعیین کرد، برآورد شاخص‌های کانونی بر اساس یک نمونه و براساس بوتسترپ به توزیع نمونه‌گیری سوگیرانه می‌انجامد و در نتیجه، بوتسترپ در تعیین فاصله اطمینان ۹۵ درصدی واقعی حتی بدون میزان‌سازی ،کاربرد مناسبی نمی‌تواند داشته باشد، به همین سبب، پژوهشگران پیشنهاد می‌کنند که برای بررسی مانایی نظم شاخص‌های کانونی بر اساس زیرگردایه هایی از داده‌ها استفاده شود. اگر ترتیب شاخص‌های کانونی پس از بازبرآوردگری شبکه از رهگذر برون رانی مورد یاکم سازی گره‌های مانندهم باشد نشان‌دهنده مانایی آن‌هاست[۱۵،۱۸].

در گردآیه ای از داده‌ها، یک مورد[5] نشان‌دهنده یک مشاهده در همه متغیرها است (یعنی یک نفر) و همان ردیفهای داده‌ها است. گره‌هاهمان ستون‌های داده‌ها هستند. زیرگردآیه هایی از موارد را می‌توان برای وارسی مانایی شاخص‌های کانونی انتخاب کرد. این زیرگردآیه ها بوتسترپ m از n[6] نام گرفته‌اند که از آن برای حل مشکلات بوتسترپ معمولی استفاده می‌شود [۱۸-۱۷]. کاربست چنین بوتسترپی برای برگرفتن نسبت‌های مختلفی از موارد استفاده می‌شود که بتوان همبستگی میان شاخص‌های کانونی اصلی و آن‌هایی که از زیرگردآیه های داده‌ها به‌دست می‌آیند را محاسبه کرد. اگر این همبستگی پس از برون رانی موارد (مثلاً ۱۰ درصد موارد) کاملاً تغییر کند، آن‌گاه تفسیر کانونی با خطا همراه می‌شود. این روش بوتسترپ زیرگردآیه های برون رانی مورد[7] نام می‌گیرد. به همین طریق، می‌توان مانایی شاخص‌های کانونی پس از برون‌رانی گره‌ها از شبکه (بوتسترپی زیرگردآیه‌های برون‌رانی گره[8]) را به کار برد[۸،۱۰] ،که در bootnet می‌توان انجام داد اما تفسیر آن با تکلف همراه است؛ زیرا برون‌رانی ۵۰ درصد از گره‌ها، ساختار شبکه متفاوتی را می‌سازد؛ بنابراین دربررسی مانایی فقط از برون‌رانی -مورد استفاده می‌شود.

برای به عدد درآیی میزان مانایی شاخص‌های کانونی با استفاده از روش بوتسترپ‌های زیرگردآیه ای، شاخصی نو به نام ضریب همبستگی مانایی[9] (ضریب CS) استفاده می‌شود.

اگر مقدار CS بر اساس میزان مانایی مورد انتظار پژوهشگر می‌تواند تغییر کند اما آن مقدار آن در علوم رفتاری از پیش ۰/۷ تعیین شده است که مقدار بزرگی به شمار می رود[۴].

[1] strength
[2] bootstrap
[3] stability
[4] bootstrapped difference test
[5] case
[6] m out of n bootstrap
[7] case-dropping subset bootstrap
[8] node-dropping subset bootstrap
[9] stability correlation

معنادارآزمایی تفاوت‌ها

افزون بر بررسی درستی وزن یال‌ها ومانایی ترتیب شاخص‌های کانونی، پژوهشگران ممکن است برآن باشند که آیا یک یال خاص مثلاً A-B به طور معناداری بزرگ‌تر از یال دیگر مثلاً A-C است یا خیر، یا این‌که آیا کانونی گره A به طور معناداری از گره B بیشتر است. به این مقصود، از مقادیر بوتسترپ شده برای این موارد می‌توان بهره برد. به این منظور فاصله اطمینان (CI) برای نمره های تفاوت حاصل از بوتسترپ محاسبه می‌شود. فرضیه صفر با وارسی این‌که آیا "عددصفر" در این فاصله اطمینان بوتسترپی قرار می‌گیرد یا خیر آزمون می شود[۲،۳،۱۱].

راهنمای عملی

دراین بخش،بااستفاده از داده های یک نمونه ۳۶۸(۱۲۰ پسرو ۲۴۸ دختر) نفری از دانشجویان دانشگاههای تهران درسال تحصیلی۱۳۹۹-۱۳۹۸ است و۲۰شاخص اضطراب ازطریق مقیاس اضطراب اندازه گیری شد. برای برآوردساختار،پارامترهای شبکه ودرستی آزمایی بااستفاده ازبسته bootnetدرنرم افزارRارایه شد.بایدگفت نرم افزارهای مختلف و بسته های مختلفی برای تحلیل شبکه کاربرددارند اماbootnet امکان کاربست روشهای بوتسترپ را فراهم می آورد که دربخش نظری این مقاله باریزبینی بیان شد.

برای این مقصوداز دستور زیراستفاده می شود وبه این ترتیب ساختارشبکه با استفاده ازتابع پیش گزیدهEBICglasso برآوردمی شود.

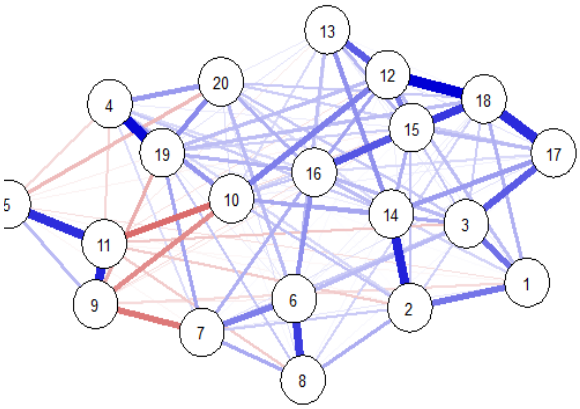
```
library("bootnet")
 Network <- estimateNetwork(Data, default = "EBICglasso")
```

برای رسم نمودارنتیجه،می توان ازدستورزیراستفاده کرد.

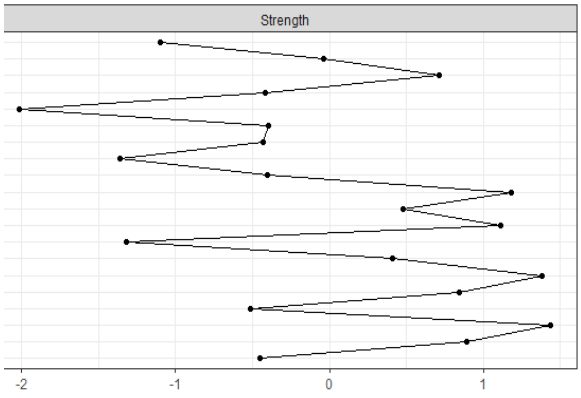
```
plot(Network, layout = "spring", labels = TRUE)
```

شکل ۳ ساختارشبکه را نشان میدهدکه بامدل گرافیکی گوسی برآورد شده باضرایب همبستگی سهمی، که با توجه به تابع برآوردglassoشبکه ای مقتصدانه و چابک است.قویترین روابط مثبت بین گره های ۱۲-۱۸، ۱۷-۱۸، ۲-۱۴، ۱۱-۵، ۴-۱۹، ۶-۸ ،۱۸-۱۵و ۱۵-۱۶ وروابط منفی قوی بین گره های ۱۱-۱۰، ۱۰-۹، ۹-۷، دیده می شود.همچنین روابط بین برخی گره ها صفراست که نشان می دهد با کنترل آماری دیگر گره های شبکه رابطه بین آنهاغیر معنادارمیشودویا این که رابطه ای میان آنهاوجود ندارد،برای نمونه،گره هی ۱۷ - ۱، و۱۳-۴.

جدول ۱ محتوای۲۰ گره را نشان می دهد. شکل۴ شاخص کانونی قدرت شبکه رانشان می دهد که براین اساس گره های۳،۶و۱۱ قویترین هستند.



شکل۳. ساختارشبکه اضطراب



شکل۴. شاخص کانونی "قدرت"را برای گره های شبکه اضطراب براساس نمرات معیارz

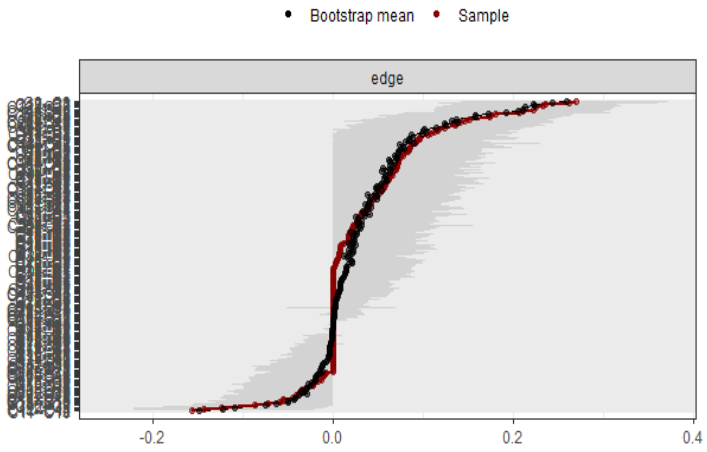
برای درستی آزمایی وزن یال های شبکه براساس روش بوتسترپ استفاده می شود.به طوررایج روش بوتسترپ ناپارامتری با۱۰۰۰نمونه اجرا می شود.میتوان این شمار نمونه را افزون کرد تا نمودارقیق تری فراهم شود.دردستورزیرnBoot این شمارازنمونه را نشان می دهد.

```
boot1 <- bootnet (Network, nBoots = 2500, nCores = 4)
```

یک راه سرراست برای تفسیر یافته های این گام استفاده ازنموداراست که با دستورزیر فراهم می آید.

```
plot (boot1, labels=FALSE, order = "sample")
```

اجرای این دستور به شکل ۵ می انجامد.

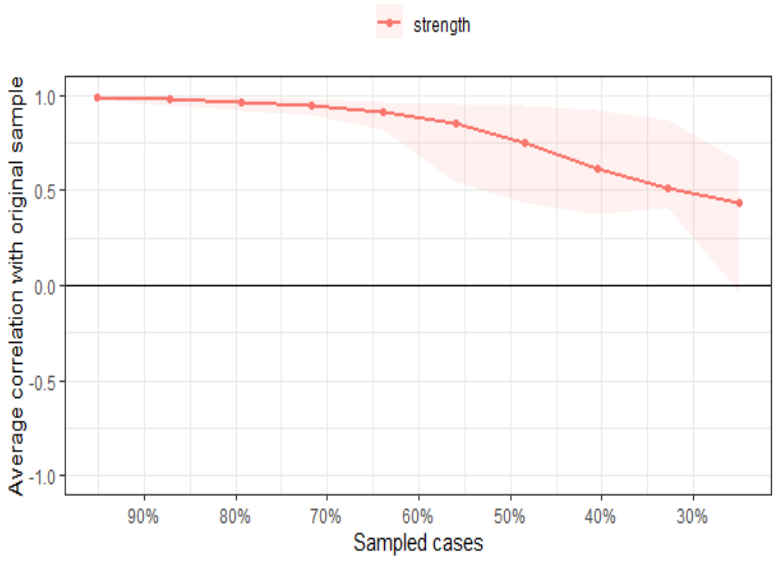


شکل۵. نتیجه بوتسترپ برای تعیین درستی آزمایی وزن یال ها

برای بررسی مانایی شاخص های کانونی از دستورزیراستفاده می شود.

```
Boot2 <- bootnet(Network, nBoots = 2500, type="case" ,nCores = 4)
```

شکل۶ نتیجه را نشان می دهد .



شکل۶. نتیجه بوتسترپ برای تعیین مانایی شاخص های کانونی

```
=== Correlation Stability Analysis ===

Sampling levels tested:
   nPerson Drop%   n
1       92  75.0 251
2      121  67.1 209
3      149  59.5 245
4      178  51.6 242
5      206  44.0 262
6      235  36.1 284
7      264  28.3 242
8      292  20.7 252
9      321  12.8 253
10     350   4.9 260

Maximum drop proportions to retain correlation of 0.7 in at least 95% of the samples:

edge: 0.361
  - For more accuracy, run bootnet(..., caseMin = 0.283, caseMax = 0.44)

strength: 0.361
  - For more accuracy, run bootnet(..., caseMin = 0.283, caseMax = 0.44)

Accuracy can also be increased by increasing both 'nBoots' and 'caseN'.
```

برای آزمودن،معناداری تفاوت بین وزن یالها وشاخص های کانونی ازروش بوتسترپ استفاده می شود.

```
Expected significance level given number of bootstrap samples is approximately: 0.05
  id1 id2  measure      lower     upper significant
1  C6  C3 strength -0.2331329 0.2904693       FALSE
```

نتایج فوق نشان می دهد که بین گره ۶ و۳ تفاوت معناداری وجود ندارد.

نتیجه گیری

دراین مقاله روش شناسی,تحلیل آماری و اهمیت کاربست تحلیل شبکه ی روانشناختی محاسباتی بحث و توصیف شد.این روش بانرم افزارهای گونه گونی اجراپذیراست .در این مقاله، دربخش راهنمای عملی با داده های اضطراب بانرم افزارآر شبکه تحلیل ودرستی آزمایی شد. پژوهشگران درعلم روانشناسی بااستفاده ازاین روش می توانند طرحی نودراندازندو همگاه وهمگام بابالندگی فنون نوین ریاضی وآماری به گونه ای ریزبینانه تروژرف تر مساله پژوهشی به دام افتاده رابررسی ویافته های تازه ای را بردلدادگان این علم عرضه دارند.

منابع

1- Finegood DT, Merth TDN, Rutter H. Implications of the foresight obesity system map for solutions to childhood obesity. Obesity, 2010;18(Supplement1): S13–S16

2- Epskamp S, Maris GK, Waldorp LJ, Borsboom D.Network psychometrics.2016; arXiv preprint arXiv:160902818.

3- Epskamp S, Waldorp LJ, Mõttus R, Borsboom D. The Gaussian graphical model in cross-sectional and time-series data. Multivariate Behavioral Research.2018;53(4):453-80. https://doi.org/10.1080/00273171.2018. 1454823.

4- Borsboom D, Cramer AOJ. Network analysis: An integrative approach to the structure of psychopathology. Annual Review of Clinical Psychology.2013; 9: 91 –121. doi:10.1146/annurevclinpsy-050212-185608

5- Fried EI. R tutorial: how to identify communities of items in networks. Retrieved from http://psych-networks.com/r-tutorial-identify-communities-items-networks.2016.

6- Fried EI, Cramer AOJ. Moving forward: Challenges and directions for psychopathological network theory and methodology. Perspectives on Psychological Science.2017; 12(6): 999–1020. doi:10.17605/OSF.IO/BNEK

7- Forbes MK, Wright AGC, Markon KE, Krueger RF. Evidence that psychopathology symptom networks have limited replicability. Journal of Abnormal Psychology.2017; 126 (7): 969–988. doi:10.1037/abn0000276

8- Watts DJ, Strogatz SH. Collective dynamics of “small-world” networks. Nature.1998; 393 (6684): 440–442. doi:10.1038/30918

9- Pearl J. Causality: Models, reasoning, and inference. New York, NY: Cambridge University Press;2003.

10- Epskamp S, van Borkulo CD, van der Veen MN, Servaas MN., Isvoranu AM, Riese H, Cramer AOJ. Personalized network modeling in psychopathology: The importance of contemporaneous and temporal connections. Clinical Psychological Science.2018; 6(3): 416–427. doi:10.1177/2167702617744325.

11- Greenland S, Pearl J, Robins JM. Causal diagrams for epidemiologic research. Epidemiology.1999;10: 37 –48.

12- Bentler PM, Satorra A. Testing model nesting and equivalence. Psychological Methods.2010; 15(2): 111–123. doi:10.1037/a0019625.

13- Fried EI, Cramer AOJ. Moving forward: Challenges and directions for psychopathological network theory and methodology. Perspectives on Psychological Science.2017;12(6): 999–1020.

14- Lauritzen SL. Graphical models. Oxford, UK: Clarendon Press;1996.

15- vanBorkulo CD, Boschloo L, Borsboom D, Pennin BWJH,Waldorp LJ,Schoevers RA. Association of symptom network structure with the course of depression. JAMA Psychiatry.2015; 72(12): 1219–1226. doi:10.1001/jamapsychiatry.2015.2079

۱۶- فراهانی ح.مقایسه رگرسیون خطی و الگوریتم‌های رگرسیون انقباضی (ستیغی، لسو و الستیک شبکه‌ای) با استفاده از داده‌های بیماران استرس‌پس‌ازسانحه،مجله پژوهش های کاربردی روانشناختی.; ۱۳۹۹. ۳(۱۱): ۱۹۳-۲۰۶.

17- Chen J, Chen Z. Extended Bayesian information criteria for model selection with large model spaces. Biometrika.2007; 95(3): 759–771. doi:10.1093/biomet/asn034

18- Newman M. Networks. Oxford: Oxford University Press;2018