# JAMOVI ML

## GRUČENJE OZIROMA ZDRUŽEVANJE

### Uvod v združevanje

Združevanje (clustering) je metoda razvrščanja podatkov v skupine (grozde), kjer so podatki znotraj iste skupine bolj podobni drug drugemu kot podatkom v drugih skupinah. Cilj združevanja je ugotoviti latentne strukture in segmentirati podatke na podlagi podobnosti.

K-means algoritem

K-means je eden najpogosteje uporabljenih algoritmov za združevanje. Deluje po naslednjem postopku:

Število grozdov (k): Uporabnik določi število grozdov, ki jih algoritem išče.

Naključna inicializacija: Algoritem naključno izbere k začetnih središč (centroidov).

Dodelitev točk: Vsaka točka podatkovnega nabora je dodeljena tistemu središču, ki je najbližje (glede na evklidsko razdaljo).

Posodobitev središč: Za vsak grozd se izračuna novo središče kot povprečje vseh točk v tem grozdu.

Ponavljanje: Koraki dodelitve in posodobitve se ponavljajo, dokler se središča grozdov ne prenehajo spreminjati ali dokler ni doseženo največje število iteracij.

Izbira optimalnega števila grozdov

Optimalno število grozdov (k) je pogosto neznano, zato uporabimo različne metode za njegovo določitev:

Gap statistika: Primerja variabilnost znotraj grozdov s pričakovano variabilnostjo pri naključnih podatkih. Optimalno število grozdov je tisto, pri katerem je razlika (gap) največja.

Elbow metoda: Izriše vsoto kvadratov razdalj med točkami in središči grozdov za različne vrednosti k. Optimalno število grozdov je tam, kjer se krivulja "zlomi" (točka komolca).

Silhouette koeficient: Meri, kako podobne so točke znotraj grozda v primerjavi s točkami v drugih grozdih. Večji koeficient pomeni boljšo ločljivost grozdov.

Standardizacija podatkov

Pred uporabo algoritma K-means je pomembno, da podatke standardiziramo (npr. z metodo z-ocen), še posebej, če imajo spremenljivke različne enote ali skale. Standardizacija zagotavlja, da vse spremenljivke enakovredno prispevajo k izračunu razdalj.

Grafična predstavitev grozdov

Cluster plot: Izris grozdov v 2D ali 3D prostoru. Točke so obarvane glede na pripadnost posameznim grozdom, središča grozdov pa so običajno prikazana kot posebni simboli.

Plot srednjih vrednosti: Po združitvi lahko izračunamo in prikažemo povprečne vrednosti posameznih značilk za vsak grozd, kar omogoča interpretacijo razlik med njimi.

Gap statistika graf: Prikazuje razlike v variabilnosti za različne vrednosti k, kar pomaga pri izbiri optimalnega števila grozdov.

### Primer

V enakem datasetu želimo združiti dijake s podobnimi rezultati MBTI testa. V modulu snowCluster tokrat izberemo K-means Clustering in izberemo zvezne spremenljivke, glede na katere želimo podatke združiti.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

Pogosto vključimo standardizacijo. Program ponuja, da že vnaprej povemo, kolikšno število skupin bi radi imeli. Izberemo, da želimo grafe povprečij glede na skupine (to nam oriše situacijo, po kateri smo skupine združevali) in optimalno število grozdov (Gap statistika).

Najprej pregledamo optimalno število skupin. Iščemo višje točke oziroma točke, preden funkcija strmo pade. Na sliki (med rezultati pogledamo graf »Optimal number of clusters«) vidimo, da bi bile dobre izbire 3, 5, ali 7 (če nam ustreza večje število skupin). Za primer vzemimo k = 3.

A graph on a black background

Description automatically generated

V rezultatih nam najprej javi tabelo napak in natančnosti. V posameznih grupah vidimo varianco med samimi enotami v skupini in glede na vse. Velika vrednost »Between clusters« in majhna v posameznih skupinah nam pove, da je model ustrezen. V grafu povprečij glede na skupine lahko opazujemo trend, da...

A graph with lines and dots

AI-generated content may be incorrect.

### Vaje

V isti podatkovni zbirki primera za število skupin k = 2 dobimo sledečo tabelo. Je rezultat ustrezen?

| Sum of squares Table | | | |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | **Value** | |
| Cluster 1 |  | 178.3 |  |
| Cluster 2 |  | 102.9 |  |
| Between clusters |  | 70.8 |  |
| Total |  | 352.0 |  |
|  | | | |

Vaja 3:

V isti podatkovni zbirki gruči dijake glede na motivacijo in anksioznost in komentiraj. Lahko sklepaš kakšno zvezo med opazovanima spremenljivama in če ja, kako bi nadaljeval raziskavo?

## ITEM RESPONSE THEORY (IRT)

Item Response Theory (IRT) je sodobna psihometrična metoda, ki omogoča poglobljeno analizo odgovorov na testne postavke. V nasprotju s klasično testno teorijo (KTT), ki obravnava skupni rezultat testa, se IRT osredotoča na razumevanje interakcije med latentno sposobnostjo posameznika in značilnostmi posameznih postavk. Z uporabo IRT lahko natančneje ocenimo tako sposobnosti posameznikov kot tudi težavnost in diskriminativnost testnih postavk. V Jamoviju lahko IRT analize izvajamo z modulom snowIRT.

IRT modeli predpostavljajo, da je verjetnost pravilnega odgovora na postavko (ali določenega odgovora na postavko z več kategorijami) odvisna od dveh ključnih dejavnikov:

* **Sposobnosti posameznika (θ):** Latentna spremenljivka, ki predstavlja raven sposobnosti, znanja ali lastnosti, ki jo test meri.
* **Parametrov postavke:** Značilnosti posamezne postavke, ki vplivajo na verjetnost odgovora.

### Modeli

**Dihotomski Rasch model** je najpreprostejši model IRT, ki uporablja samo eno parameter – težavnost vprašanja. Model predpostavlja, da je verjetnost pravilnega odgovora na vprašanje odvisna samo od razlike med sposobnostjo udeleženca in težavnostjo vprašanja. Uporablja se povsod, kjer je pravilen le en odgovor, torej npr. Tudi za vprašanja večkratne izbire (angl. *multiple choice)*.

**Politomski Rasch model** je razširitev dihotomskega modela, ki omogoča analizo vprašanj z več kot dvema možnima pravilnima odgovoroma (npr. Likertove lestvice). Model uporablja več parametrov za opis verjetnosti odgovora na vsako kategorijo.

### Zanesljivost modela

Zanesljivost modela IRT se ocenjuje z različnimi metodami, kot so:

* **Informacijska funkcija vprašanja (Item Information Function - IIF)**: Meri, koliko informacij vprašanje prispeva k oceni sposobnosti udeleženca. Visoka vrednost IIF pomeni, da je postavka na tej ravni sposobnosti zelo informativna in dobro diskriminira med posamezniki.
* **Informacijska funkcija testa (Test Information Function – TIF):** Je vsota informacijskih funkcij vseh postavk in prikazuje skupno informacijo, ki jo celoten test zagotavlja za oceno sposobnosti na različnih ravneh. Višja TIF pomeni večjo zanesljivost testa.
* **Zanesljivost osebe (Person Reliability):** Ocena zanesljivosti merjenja sposobnosti za posameznika. Visoka zanesljivost pomeni, da je ocena sposobnosti posameznika stabilna in natančna. Jamovi pri Rasch modelu izračuna to zanesljivost, podobno kot Cronbachov alfa, vendar na osnovi IRT parametrov.

### Grafične predstavitve

1. **Wrightova mapa:** Grafični prikaz, ki združuje porazdelitev sposobnosti posameznikov in težavnosti postavk na isti lestvici (logiti). Omogoča vizualno preverjanje, ali je test primerno težak za populacijo, ki jo merimo, in ali so postavke dobro razporejene po celotnem spektru sposobnosti. Idealen test ima postavke, ki pokrivajo celotno paleto sposobnosti preizkušancev.
2. **Karakteristična krivulja postavke (Item Characteristic Curve; ICC)**: Graf, ki prikazuje verjetnost pravilnega odgovora na item glede na sposobnost udeleženca. ICC pomaga razumeti, kako dobro vprašanje razlikuje med udeleženci z različnimi sposobnostmi.

### Analiza skupnega rezultata

Skupni rezultat udeležencev je pomemben kazalec uspešnosti testa. Analiza skupnega rezultata vključuje:

1. **Povzetek skupnega rezultata**:
   * Povprečje, standardni odklon, minimum in maksimum skupnega rezultata.
   * Opisna statistika, ki omogoča hitro oceno uspešnosti udeležencev.
2. **Histogram skupnega rezultata**:
   * Histogram prikazuje porazdelitev skupnih rezultatov udeležencev.
   * Omogoča vizualno oceno normalnosti porazdelitve in prepoznavanje morebitnih izjemnih vrednosti.

**Praktični izzivi in omejitve IRT**

Kljub številnim prednostim ima IRT tudi nekatere omejitve:

Velikost vzorca: IRT modeli so statistično bolj zahtevni in so manj zanesljivi pri majhnih vzorcih, saj ocene parametrov postanejo nestabilne. Priporoča se vzorec vsaj 200–500 preizkušancev, odvisno od kompleksnosti modela in števila postavk.

Pristranskost v podatkih: Nekontrolirana pristranskost pri izboru postavk ali udeležencev lahko vpliva na rezultate IRT analize in vodi do napačnih zaključkov.

Predpostavke modela: IRT modeli temeljijo na določenih predpostavkah (npr. unidimenzionalnost, lokalna neodvisnost), ki jih je treba pred analizo preveriti.

### Primer (dihotomni Rasch model)

Najprej uvozimo modul snowIRT. Ker so naši podartki [JAMOVI-ucbenik/irt\_data.csv at main · borbregant/JAMOVI-ucbenik](https://github.com/borbregant/JAMOVI-ucbenik/blob/main/irt_data.csv) le tipa 0 ali 1, bomo izbrali dihotomski model.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

Vse spremenljivke, ki se nanašajo na vprašanja, torej V1 do V10 nesemo v okno Variables.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

V oknu standard scores lahko odkljukamo opcije, ki se nanašajo na deskriptivno analizo

A screenshot of a computer screen

AI-generated content may be incorrect.A graph of different colored bars

AI-generated content may be incorrect.

V analizi nas najprej zanimajo podatki o samem modelu in podatki o težavnosti itemov, zato obkljukamo

A white rectangular object with a gray border

AI-generated content may be incorrect.

Dobimo

| Model Fit | | | |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | **Person Reliability** | |
| scale |  | 0.649 |  |
|  | | | |

| Item Statistics | | | |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | **Proportion** | |
| V1 |  | 0.830 |  |
| V2 |  | 0.690 |  |
| V3 |  | 0.700 |  |
| V4 |  | 0.640 |  |
| V5 |  | 0.560 |  |
| V6 |  | 0.410 |  |
| V7 |  | 0.370 |  |
| V8 |  | 0.290 |  |
| V9 |  | 0.180 |  |
| V10 |  | 0.180 |  |
|  | | | |

**Person Reliability (0.649):** Ta vrednost kaže na zmerno zanesljivost merjenja sposobnosti posameznikov. Je sprejemljiva za splošne raziskave ali primerjave skupin, vendar morda prenizka za visoko tvegane individualne odločitve (npr. diagnoze). Višja vrednost (bližje 1) pomeni večjo natančnost ocen.

Stolpec "Proportion" prikazuje delež pravilnih odgovorov na posamezno postavko. To je enostaven indikator težavnosti postavke.

* **V1 (0.830):** Relativno lahka postavka, saj je 83% udeležencev odgovorilo pravilno.
* **V2 (0.690):** 69% pravilnih odgovorov.
* ...
* **V10 (0.180):** Relativno težka postavka, saj je le 18% udeležencev odgovorilo pravilno.

V zavihku **Plots** lahko izberemo grafične predstavitve. Za dihotomni Rasch model sta ključni:

* **Wright Map:** Za prikaz porazdelitve sposobnosti in težavnosti.
* **Item Characteristic Curves (ICC):** Za vsako postavko posebej.

A graph of a bar chart

AI-generated content may be incorrect.

**Interpretacija Wrightove mape:** Wrightova mapa grafično združuje porazdelitev sposobnosti *Respondents* (levo) in težavnosti *Items* (desno) na isti logit lestvici.

* **Razpon postavk:** Naše postavke pokrivajo dober razpon latentne spremenljivke, od zelo lahkih (V1) do zelo težkih (V9, V10).
* **Prekrivanje sposobnosti in težavnosti:** Obstaja dobro prekrivanje med razponom sposobnosti udeležencev in težavnosti postavk. To pomeni, da so za večino udeležencev na voljo postavke, ki so zanje primerno zahtevne.
* **Potencialni efekti stropa in tal:**
  + Opazimo določeno število udeležencev na zelo visokem koncu lestvice sposobnosti (nad 2.5 logita), za katere ni dovolj zahtevnih postavk. Postavki V9 in V10 sta najtežji, vendar so nekateri udeleženci sposobnejši od teh postavk. To nakazuje na **učinek stropa**, kar pomeni, da test ne omogoča polne diferenciacije med visoko sposobnimi posamezniki.
  + Podobno obstajajo udeleženci na zelo nizkem koncu lestvice sposobnosti (pod -2.5 logita), za katere ni dovolj lahkih postavk, da bi natančno ocenili njihovo minimalno sposobnost. To nakazuje na **učinek tal**.
* **Sklep:** Wrightova mapa kaže, da ima test dober razpon postavk in je v splošnem dobro usklajen s sposobnostmi udeležencev. Vendar pa izpostavlja potencialne učinke stropa in tal, kar pomeni, da test morda ni optimalno zahteven za najsposobnejše in preveč zahteven za najmanj sposobne udeležence. To je pomembna informacija za morebitno revizijo testa.

**Item Characteristic Curves (ICC):**

Za postavko V1 (lahka postavka):

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

Interpretacija ICC za postavko V1 (lahka):

* Težavnost: Modra krivulja je postavljena daleč na levo. Tudi udeleženci s sposobnostmi okoli -2.0 logitov imajo več kot 50% verjetnosti pravilnega odgovora. To potrjuje, da je V1 lahka postavka, kar se sklada z visokim deležem pravilnih odgovorov (0.830) in njeno pozicijo na Wrightovi mapi.
* Diskriminativnost: Krivulja kaže tipičen nagib Rasch modela, kar kaže na dobro diskriminativnost za to težavnostno raven.
* Ustreznost modela: Črna opazovana črta relativno dobro sledi modri pričakovani krivulji. To kaže, da V1 dobro ustreza pričakovanjem modela za lahko postavko; ljudje z zelo visoko sposobnostjo dosledno odgovarjajo pravilno.

Za postavko V5 (srednje težka postavka):

A blue line on a black background

AI-generated content may be incorrect.

Interpretacija ICC za postavko V5 (srednje težka):

* Težavnost: Modra krivulja je bolj centrirana proti sredini lestvice sposobnosti (okoli 0.0 do 0.5 logita). Udeleženci s sposobnostmi okoli 0.0 logita imajo približno 60% verjetnosti pravilnega odgovora, verjetnost 50% pa doseže okoli -0.5 do 0.0. To potrjuje, da je V5 srednje težka postavka, kar se ujema z njenim deležem pravilnih odgovorov (0.560) in centralno pozicijo na Wrightovi mapi.
* Diskriminativnost: Krivulja kaže dober, strm nagib, kar pomeni, da je učinkovita pri razlikovanju med udeleženci okoli povprečne ravni sposobnosti.
* Ustreznost modela: Črna opazovana črta v splošnem dobro sledi modri pričakovani krivulji, še posebej v osrednjem razponu. To kaže na dobro ustreznost postavke V5.

Za postavko V10 (težka postavka):

A blue line in a black background

AI-generated content may be incorrect.

Interpretacija ICC za postavko V10 (težka):

* Težavnost: Modra krivulja je znatno premaknjena v desno. Tudi udeleženci s sposobnostmi okoli 1.0 ali 2.0 logitov imajo nizko verjetnost pravilnega odgovora (med 0.2 in 0.6). Le tisti z zelo visokimi sposobnostmi imajo dobro verjetnost. To potrjuje, da je V10 težka postavka, kar se ujema z njenim nizkim deležem pravilnih odgovorov (0.180) in visoko pozicijo na Wrightovi mapi.
* Diskriminativnost: Začetni nagib krivulje kaže na diskriminativnost za zelo visoke sposobnosti.
* Ustreznost modela: Črna opazovana črta nekoliko odstopa od modre pričakovane krivulje, še posebej pri višjih ravneh sposobnosti. Opazovani rezultati se ne dvignejo tako strmo, kot napoveduje model za višje sposobnosti. To kaže, da lahko za V10 obstaja določena neustreznost na višjem koncu spektra sposobnosti, kar pomeni, da se postavka morda ne obnaša povsem, kot je pričakovano za zelo sposobne posameznike (morda je celo težja, kot model v celoti zajame, ali pa obstaja nenavaden vzorec odgovorov za visoko sposobne ljudi). To je vredno zabeležiti kot potencialno področje za nadaljnje raziskave.

#### Vaja

Analiziraj dihotomski model <https://github.com/borbregant/JAMOVI-ucbenik/blob/main/irt_data_vaja.csv>

### Primer (politomski model)

Najprej komentirajmo navodila, ki nam jih JAMOVI pripne.

Najnižja kategorija odgovorov na vaši Likertovi lestvici (ali podobni ordinalni lestvici) kodirana z vrednostjo 0. Če bi imeli npr. lestvico od 1 do 5, bi jo morali pred analizo v Jamoviju pretvoriti v 0 do 4. Naša generirana Python koda to zahtevo že upošteva.

Ko izvedete IRT analizo v Jamoviju, bo modul **snowIRT** rezultate analize posameznikov (npr. ocenjene sposobnosti theta, standardne napake ocene, ipd.) samodejno dodal kot nove stolpce v vašo izvorno podatkovno tabelo (datasheet) na levi strani Jamovijevega vmesnika.

Uporabili bomo nabor podatkov GITHUB s stolpci P1 do P10 in vrednostmi od 0 do 4) bi lahko izvirali iz vprašalnika, ki meri določeno latentno lastnost, kjer udeleženci odgovarjajo na postavke na Likertovi lestvici.

**Primer scenarija testa:** ...

| Summary of total score | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | | **Minimum** | | **Maximum** | | **Mean** | | **Median** | | **SD** | | **SE** | | **Skewness** | | **Kurtosis** | |
| 100 |  | 4.00 |  | 34.0 |  | 19.5 |  | 20.0 |  | 6.93 |  | 0.693 |  | -0.143 |  | 2.49 |  |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Ta tabela prikazuje opisne statistike skupnega seštevka odgovorov (seštevek vseh kategorij od 0 do 4 za vsakega udeleženca) za celoten test.

* **Minimum (4.00) in Maximum (34.0):** Kažeta razpon doseženih skupnih točk. Z 10 postavkami in 5 kategorijami (0-4), je teoretični minimum 0 (10x0) in maksimum 40 (10x4). Naši podatki se gibljejo znotraj tega razpona.
* **Mean (19.52) in Median (20.0):** Skupno povprečje točk je blizu sredine teoretičnega razpona (20), kar kaže, da test ni ekstremno lahek ali težak na splošno. Mediana je zelo blizu povprečja, kar nakazuje na relativno simetrično porazdelitev.
* **SD (6.93):** Standardni odklon kaže na variabilnost skupnih točk med udeleženci.
* **Skewness (-0.143):** Rahla negativna asimetrija, kar pomeni, da je porazdelitev rahlo nagnjena proti višjim rezultatom, vendar je vrednost blizu 0, kar kaže na precej simetrično porazdelitev.
* **Kurtosis (2.49):** Vrednost pod 3 (za normalno porazdelitev) kaže na rahlo plosko porazdelitev (platikurtično), kar pomeni, da so repi porazdelitve tanjši in je manj ekstremnih vrednosti kot pri normalni porazdelitvi.

| Model Fit | | | |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | **Person Reliability** | |
| Scale |  | 0.927 |  |
|  | | | |

Vrednost **Person Reliability (0.927)** je visoka in kaže na **odlično zanesljivost** ocenjenih sposobnosti posameznikov. To pomeni, da so ocene latentne lastnosti za vsakega udeleženca zelo natančne in stabilne, kar je ključnega pomena za individualne odločitve ali interpretacije. Ta zanesljivost je bistveno višja kot pri dihotomnem primeru (0.649), kar je pogosto pričakovano pri politomskih lestvicah z več informacijami na postavko.

| Item statistics of the rating scale model | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **Measure** | | **S.E.Measure** | |
| P1 |  | -3.031 |  | 0.182 |  |
| P2 |  | -2.122 |  | 0.173 |  |
| P3 |  | -1.566 |  | 0.169 |  |
| P4 |  | -1.088 |  | 0.166 |  |
| P5 |  | -0.544 |  | 0.164 |  |
| P6 |  | 0.528 |  | 0.164 |  |
| P7 |  | 1.244 |  | 0.168 |  |
| P8 |  | 2.102 |  | 0.176 |  |
| P9 |  | 1.168 |  | 0.183 |  |
| P10 |  | 1.869 |  | 0.192 |  |
|  | | | | | |

* Ta tabela prikazuje ocenjene težavnosti (Measure) posameznih postavk v logit lestvici za Rating Scale Model.
  + **Interpretacija težavnosti (Measure):** Nižje (bolj negativne) vrednosti pomenijo, da je postavka lažja, višje (bolj pozitivne) vrednosti pa, da je postavka težja. Lahko jih interpretiramo kot točko na latentni lestvici, kjer je verjetnost, da posameznik odgovori v najvišjo kategorijo, ali, bolj natančno, povprečje pragov (vzporednih težavnosti) za to postavko.
  + **Vrsta postavk po težavnosti:**
    - **Najlažje postavke:** P1 (-3.031), P2 (-2.122), P3 (-1.566) – To so postavke, s katerimi se bodo udeleženci najverjetneje popolnoma strinjali ali izbrali visoke kategorije. V našem primeru bi to lahko bile trditve, ki so splošno sprejete glede inovacij.
    - **Srednje težke postavke:** P4 (-1.088), P5 (-0.544), P6 (0.528) – Te postavke bodo razločevale med udeleženci s povprečnimi sposobnostmi.
    - **Najtežje postavke:** P7 (1.244), P8 (2.102), P9 (1.168), P10 (1.869) – To so postavke, s katerimi se bodo popolnoma strinjali le udeleženci z zelo visoko latentno lastnostjo. Opazimo, da so P8 in P10 najtežji.
  + **S.E. (Standard Error):** Standardne napake ocene mer (težavnosti). Nižje vrednosti pomenijo natančnejšo oceno. Na splošno so vrednosti nizke, kar kaže na stabilne ocene.

| Delta-tau paramaterization of the partial credit model | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **tau parameters** | | | | | | | |
|  | | **1** | | **2** | | **3** | | **4** | |
| P1 |  | -28.11 |  | 6.622 |  | 9.208 |  | 12.28 |  |
| P2 |  | -4.11 |  | -0.508 |  | 0.554 |  | 4.06 |  |
| P3 |  | -3.88 |  | -1.010 |  | 0.564 |  | 4.32 |  |
| P4 |  | -29.72 |  | 7.366 |  | 9.728 |  | 12.63 |  |
| P5 |  | -4.77 |  | -0.830 |  | 1.355 |  | 4.24 |  |
| P6 |  | -3.97 |  | -0.916 |  | 0.902 |  | 3.98 |  |
| P7 |  | -4.26 |  | -0.736 |  | 1.359 |  | 3.64 |  |
| P8 |  | -4.16 |  | -0.615 |  | 1.461 |  | 3.32 |  |
| P9 |  | -3.16 |  | 0.839 |  | 2.324 |  | NaN |  |
| P10 |  | -2.95 |  | 0.531 |  | 2.419 |  | NaN |  |
|  | | | | | | | | | |

**Komentar:** Ta tabela je specifična in zelo pomembna za razumevanje delovanja politomskih postavk. Prikazuje ocenjene **težavnostne pragove (tau parametri)** med posameznimi kategorijami odgovorov **za vsako postavko posebej**.

* **τ1​ (tau 1):** Predstavlja točko na latentni lestvici, kjer je verjetnost izbire kategorije 0 enaka verjetnosti izbire kategorije 1.
* **τ2​ (tau 2):** Predstavlja točko na latentni lestvici, kjer je verjetnost izbire kategorije 1 enaka verjetnosti izbire kategorije 2.
* **τ3​ (tau 3):** Predstavlja točko na latentni lestvici, kjer je verjetnost izbire kategorije 2 enaka verjetnosti izbire kategorije 3.
* **τ4​ (tau 4):** Predstavlja točko na latentni lestvici, kjer je verjetnost izbire kategorije 3 enaka verjetnosti izbire kategorije 4.
* **Interpretacija in pomen za PCM:**
  + V Partial Credit Modelu (PCM) se pričakuje, da so ti pragovi **različni za vsako postavko**. To omogoča, da se vsaka postavka obnaša edinstveno glede prehodov med kategorijami, kar je zelo fleksibilno in realistično.
  + **Trend pragov:** Pri smiselni postavki bi morali pragovi naraščati (npr. τ1​<τ2​<τ3​<τ4​). To pomeni, da je za prehod v višjo kategorijo potrebna vedno večja sposobnost.
  + **Problematični pragovi (primeri iz rezultatov):**
    - **Ekstremne vrednosti (npr. P1, P4):** Vrednosti kot so -28.11 ali 12.28 kažejo na to, da je prehod med določenimi kategorijami za te postavke izjemno težak ali izjemno lahek, skoraj nemogoč ali vedno prisoten, kar nakazuje na težave z ustreznostjo postavke ali kategorije. Na primer, pri P1 je τ1​ izjemno nizek (-28.11), kar pomeni, da je prehod iz kategorije 0 v 1 izjemno lahek. Po drugi strani so višji pragovi (npr. τ4​ za P1 je 12.28) izjemno visoki, kar pomeni, da je za doseganje kategorije 4 potrebna ekstremno visoka sposobnost. To je posledica našega simuliranega "idealnega" obnašanja postavke P1 kot "zelo lahke".
    - **"NaN" vrednosti (P9, P10 pri τ4​):** "NaN" (Not a Number) pomeni, da se ta prag ni mogel oceniti. To se običajno zgodi, kadar v vzorcu ni dovolj podatkov za izračun prehoda med kategorijami. Najpogosteje to pomeni, da nihče (ali zelo malo ljudi) ni izbral najvišje kategorije (v tem primeru kategorije 4), zato model ne more določiti točke prehoda iz kategorije 3 v 4. To je pomemben znak, da je ta postavka pretežka ali pa najvišja kategorija ni dosegljiva za večino populacije.
    - **Neurejeni pragovi (npr. P1: 6.622, 9.208, 12.28):** Tudi če so vrednosti veljavne, je pomembno preveriti, ali so **monotono naraščajoče** (tj. τ1​<τ2​<τ3​<τ4​). Če temu ni tako (npr. τ1​ je višji od τ2​), to lahko pomeni, da kategorije niso dobro diferencirane ali da je postavka problematična. V vaših rezultatih, razen ekstremov pri P1 in P4, se večinoma zdijo urejeni, vendar je to ključna točka za preverjanje.

**Wright Map**

A blue and white graph

AI-generated content may be incorrect.

Na osi vidimo posameznike in nato oznake postavk, ki so ločene tudi s simboli za vsak prehod med kategorijami (npr. P1:0|1, P1:1|2, P1:2|3, P1:3|4). Idealno bi si želeli, da so vsi pragovi lepo razporejeni po celotnem latentnem kontinuumu, in da se prekrivajo s porazdelitvijo sposobnosti udeležencev.

Kot pri dihotomnem modelu, če so "Respondents" skoncentrirani na določenem delu lestvice, kjer ni ustreznih pragov ali postavk, lahko to nakazuje na učinke stropa/tal ali pomanjkanje informacij v tem delu lestvice. Iz vaše slike je videti, da so naši simulirani podatki precej dobro porazdeljeni, vendar so P9 in P10 spet na skrajnem desnem koncu, kar kaže na njihovo visoko težavnost. Ekstremne vrednosti tau parametrov se prav tako odražajo na mapi.

**Person-item map for PCM**

A black screen with white lines

AI-generated content may be incorrect.

 **Komentar:** Wrightova mapa za Partial Credit Model prikazuje porazdelitev sposobnosti posameznikov in vse posamezne težavnostne pragove za vsako postavko.

 **Razlika od dihotomne:** Pri dihotomnih modelih vsaka postavka prispeva le eno točko (težavnost). Pri PCM pa vsaka postavka prispeva več točk – po eno za vsak prag med kategorijami (npr. 4 točke za lestvico 0-4). To omogoča podrobnejši vpogled v to, kako postavka deluje na različnih ravneh sposobnosti.

 **Interpretacija:** Preverjamo, ali so pragovi lepo razporejeni po lestvici in ali se ujemajo z razponom sposobnosti udeležencev. Idealno bi si želeli, da so pragovi dobro porazdeljeni, da zajamejo celoten spekter sposobnosti in da ni velikih "lukenj" brez informacij. Ponovno so jasno vidni ekstremni pragovi in nekatere težave (npr. P9 in P10 so na skrajni desni, kar potrjuje, da so težke in da najvišje kategorije morda niso dosegljive).

**Expected Score Curve**

**Komentar: Namesto verjetnosti pravilnega odgovora (kot pri dihotomnem modelu), ICC pri politomnih modelih prikazuje pričakovani rezultat na postavki kot funkcijo sposobnosti posameznika. Zato se krivulja dviga od najnižje do najvišje kategorije (npr. od 0 do 4).**

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

A blue line in the sky

AI-generated content may be incorrect.

**Rating Scale Deltas/thresholds**

**Histogram of total score**

A graph of red and blue bars

AI-generated content may be incorrect.

### Diferencična funkcija itemov

Diferencična funkcija itemov (DIF) se nanaša na situacijo, ko imajo itemi različne lastnosti za različne skupine udeležencev, kljub temu da imajo te skupine enako raven latentnega konstrukta (npr. znanja ali sposobnosti). DIF lahko nastane zaradi različnih dejavnikov, kot so kulturni vplivi, spolne razlike ali druge sistemske pristranskosti.

**Metode za prepoznavanje DIF**

Rajuova metoda (Raju's Area Method): Primerja površine med informacijskimi funkcijami odgovora na postavko (IRF) za dve skupini. Če se IRF bistveno razlikujeta, to kaže na prisotnost DIF.

Logistična regresija: Uporablja se za preverjanje, ali skupinska pripadnost pomembno napoveduje pravilni odgovor, ko je kontrolirana sposobnost posameznika.

**Primer testa za Raju DIF analizo** [**JAMOVI-ucbenik/irt\_dif\_data.csv at main · borbregant/JAMOVI-ucbenik**](https://github.com/borbregant/JAMOVI-ucbenik/blob/main/irt_dif_data.csv)

**Generirani podatki (irt\_dif\_data.csv) simulirajo scenarij, kjer test ocenjuje določeno znanje (npr. iz naravoslovja), udeleženci pa so razdeljeni v dve skupini, recimo glede na to, ali so referenčna skupina (0) domači govorci in fokalna skupina (1) učenci, za katere slovenščina ni materni jezik.**

**Scenarij:**

**Predstavljajte si, da so ti podatki zbrani na testu znanja iz fizike za srednješolce. Test vsebuje 10 dihotomnih postavk (pravilno/napačno). Učenci so razdeljeni v dve skupini:**

* **Skupina 0 (Referenčna): Domači govorci slovenskega jezika.**
* **Skupina 1 (Fokalna): Učenci, ki se slovenščine učijo kot drugi jezik.**

**Postavke testa:**

* **DIF\_Q1 - DIF\_Q4, DIF\_Q6 - DIF\_Q10 (Postavke brez DIF-a): To so splošne postavke iz fizike, ki merijo fizikalno znanje in se predvideva, da delujejo enako za obe skupini, ne glede na jezikovno ozadje. Npr. "Katera sila deluje na telo v prostem padu?"**
* **DIF\_Q5 (Postavka s simuliranim DIF-om): Ta postavka je bila umetno "otežena" za fokalno skupino (učence, za katere slovenščina ni materni jezik). To bi lahko bila postavka, ki vsebuje kompleksno besedilo, idiome, ali kulturno specifične reference, ki so domačim govorcem lažje razumljive, ne glede na njihovo dejansko fizikalno znanje. Na primer:**
  + **"V naslednjem odstavku je opisana situacija. Previdno preberi in določi, katera fizikalna veličina je ključna za razumevanje pojava: 'V delavnici je mojster koval in brusil kovino, pri čemer so nastajali oblaki dima in vročina je hitro napolnila prostor, kar je povzročalo neudobje prisotnim.'" (Vprašanje se v bistvu nanaša na prenos toplote, a je ovito v kompleksno, morda za tuje govorce nerazumljivo, besedilo, kar otežuje razumevanje naloge, ne fizike same).**

**V jamovi dobimo**

| **Raju’s area method** | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **Statistic** | | **p** | | **Adj.p** | | **deltaRaju** | | **Effect size** | |
| **DIF\_Q1** |  | **0.656** |  | **0.512** |  | **0.670** |  | **-0.4022** |  | **A** |  |
| **DIF\_Q2** |  | **0.937** |  | **0.349** |  | **0.614** |  | **-0.5324** |  | **A** |  |
| **DIF\_Q3** |  | **0.178** |  | **0.859** |  | **0.859** |  | **-0.0887** |  | **A** |  |
| **DIF\_Q4** |  | **0.619** |  | **0.536** |  | **0.670** |  | **-0.2970** |  | **A** |  |
| **DIF\_Q5** |  | **4.223** |  | **< .001** |  | **< .001** |  | **-2.0130** |  | **C** |  |
| **DIF\_Q6** |  | **-2.011** |  | **1.956** |  | **0.148** |  | **0.9360** |  | **A** |  |
| **DIF\_Q7** |  | **-1.025** |  | **1.695** |  | **0.614** |  | **0.4894** |  | **A** |  |
| **DIF\_Q8** |  | **-0.473** |  | **1.364** |  | **0.707** |  | **0.2421** |  | **A** |  |
| **DIF\_Q9** |  | **-2.048** |  | **1.959** |  | **0.148** |  | **1.1017** |  | **B** |  |
| **DIF\_Q10** |  | **-0.900** |  | **1.632** |  | **0.614** |  | **0.5642** |  | **A** |  |
| **Note. 1. Effect size(ETS Delta scale) for absolute values of 'deltaRaju' = A: negligible effect(<1.0), B: moderate effect(>1.0),C: large effect(>1.5).** | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | |

**Razlaga stolpcev:**

* **Statistic: To je vrednost Raju Z statistike, ki meri, kako se krivulja značilnosti postavke razlikuje med referenčno in fokalno skupino. Večja kot je absolutna vrednost, večja je razlika.**
* **p: To je neprilagojena p-vrednost, ki kaže statistično značilnost DIF-a za posamezno postavko. Če je p < 0.05 (ali izbrano raven značilnosti), postavka izkazuje statistično značilen DIF.**
* **Adj.p: To je prilagojena p-vrednost (običajno korigirana za množične primerjave, npr. z Bonferronijevo korekcijo), ki zmanjšuje verjetnost napake tipa I (lažno pozitivnega DIF-a). To je pomembnejša p-vrednost za odločanje o prisotnosti DIF-a.**
* **deltaRaju: To je mera velikosti DIF-a na lestvici Delta, ki je standardizirana mera razlike med skupinskima krivuljama. Pozitivna vrednost pomeni, da je postavka lažja za fokalno skupino (kodirano kot 1) v primerjavi z referenčno skupino (kodirano kot 0). Negativna vrednost pomeni, da je postavka težja za fokalno skupino.**
* **Effect size: To je kvalitativna kategorizacija velikosti DIF-a (A, B, C) na podlagi absolutne vrednosti deltaRaju, kot je navedeno v opombi pod tabelo.**
  + **A: zanemarljiv učinek (< 1.0)**
  + **B: zmeren učinek (med 1.0 in 1.5)**
  + **C: velik učinek (> 1.5)**

**Analiza rezultatov:**

1. **Postavka DIF\_Q5: Izražen DIF**
   * **Statistic = 4.223: Visoka vrednost Z-statistike kaže na znatno razliko med skupinama za to postavko.**
   * **p < .001 in Adj.p < .001: Obe p-vrednosti sta izjemno nizki, kar pomeni, da je prisotnost DIF-a za to postavko statistično izjemno značilna. Zelo verjetno je, da ta postavka ne deluje enako za obe skupini.**
   * **deltaRaju = -2.0130: Negativna vrednost kaže, da je postavka DIF\_Q5 težja za fokalno skupino (skupina 1) v primerjavi z referenčno skupino (skupina 0), ob upoštevanju enake sposobnosti.**
   * **Effect size = C: Kategorija "C" pomeni, da gre za velik učinek DIF-a. To potrjuje naše predhodno simuliranje DIF-a za to postavko. V kontekstu našega primera (test fizike, kjer je fokalna skupina "ne-materni govorci"), to pomeni, da je ta postavka izrazito težja za učence, za katere slovenščina ni materni jezik, kar je lahko posledica jezikovne kompleksnosti ali kulturne pristranskosti postavke.**
2. **Postavka DIF\_Q9: Zmeren DIF, vendar ni statistično značilen po prilagojeni p-vrednosti**
   * **Statistic = -2.048: Relativno visoka absolutna vrednost Z-statistike.**
   * **p = 1.959: To je verjetno napaka v izpisu, saj p-vrednost ne more biti večja od 1. Predvidevam, da bi morala biti p-vrednost okoli 0.04 (če bi bila absolutna Z vrednost 2.048). Vendar je Adj.p = 0.148.**
   * **Adj.p = 0.148: Prilagojena p-vrednost (0.148) je višja od običajne ravni značilnosti (npr. 0.05), kar pomeni, da DIF za to postavko ni statistično značilen po Bonferronijevi ali podobni korekciji. Kljub temu, da bi bil morda mejno značilen brez korekcije, je pri večkratnih testih pomembna prilagojena p-vrednost.**
   * **deltaRaju = 1.1017: Pozitivna vrednost kaže, da je postavka DIF\_Q9 lažja za fokalno skupino (skupina 1) v primerjavi z referenčno skupino.**
   * **Effect size = B: To kaže na zmeren učinek DIF-a.**
   * **Sklep: Čeprav je velikost učinka zmerna, statistična značilnost ni potrjena po prilagoditvi za večkratne primerjave, kar bi nas moralo previdno pri interpretaciji. Možno je, da je prisoten nek trend, vendar ni dovolj močan za dokončno potrditev DIF-a pri tej velikosti vzorca.**
3. **Vse ostale postavke (DIF\_Q1, DIF\_Q2, DIF\_Q3, DIF\_Q4, DIF\_Q6, DIF\_Q7, DIF\_Q8, DIF\_Q10): Ni značilnega DIF-a**
   * **Vse te postavke imajo p in Adj.p vrednosti, ki so višje od 0.05, kar pomeni, da ni statistično značilnega DIF-a.**
   * **Njihove deltaRaju vrednosti so blizu 0 in Effect size je "A" (zanemarljiv učinek), kar potrjuje, da se te postavke med skupinama obnašajo zelo podobno. To se ujema z našo simulacijo, kjer smo le za eno postavko (DIF\_Q5) umetno ustvarili DIF.**

#### Nadaljnje možnosti DIF analize v Jamoviju

**Modul snowIRT v Jamoviju ponuja poleg Raju metode še več naprednih metod za odkrivanje DIF-a, ki omogočajo podrobnejšo in specifičnejšo analizo diferenciranega delovanja postavk. Izbira metode je odvisna od tipa podatkov (dihotomni, ordinalni) in specifičnih raziskovalnih vprašanj.**

**4.Z.1 Delta Metoda (Delta Method)**

* **Opis: Delta metoda je robustna in relativno enostavna neparametrična metoda za odkrivanje uniformnega DIF-a. Osredotoča se na razliko v deležih pravilnih odgovorov med skupinama za posamezno postavko, ki so transformirani v Z-vrednosti. Metoda je primerna za dihotomne postavke. V Jamoviju se pogosto uporablja kot preliminarna metoda za hitro prepoznavanje potencialnih DIF postavk, saj ne zahteva striktnih predpostavk o modelu IRT.**
* **Kdaj jo uporabiti: Kadar imamo dihotomne podatke in želimo hitro in pregledno preveriti prisotnost uniformnega DIF-a brez potrebe po predhodni specifikaciji in ocenjevanju kompleksnega IRT modela. Je odlična izbira za začetno presejalno analizo.**
* **V Jamoviju: V modulu snowIRT pri izbiri DIF analize izberete Delta Method. Rezultati so v enaki obliki kot Raju metodi**

**4.Z.2 DIF za ordinalne podatke (DIF for Ordinal Data)**

* **Opis: Medtem ko so Raju metoda in Delta metoda primarno namenjeni dihotomnim podatkom, modul snowIRT omogoča tudi analizo DIF-a za ordinalne podatke, kot so Likertove lestvice. Pri ordinalnih podatkih je DIF lahko bolj kompleksen, saj lahko vpliva na več prehodov med kategorijami. Metode za ordinalne podatke preverjajo, ali se pragovi med kategorijami obnašajo drugače med skupinami.**
* **Kdaj jo uporabiti: Ko imate postavke z več kot dvema kategorijama odgovorov (npr. 3-stopenjska, 5-stopenjska lestvica ipd.) in sumite na diferencirano delovanje postavk med skupinami.**
* **V Jamoviju: ...**

**4.Z.3 Conditional Likelihood Ratio Test (CLRT)**

* **Opis: Conditional Likelihood Ratio Test je parametriziran pristop k odkrivanju DIF-a, ki temelji na primerjavi fit modelov. Preizkuša, ali se osnovni model (brez DIF-a) statistično pomembno razlikuje od modela, ki vključuje parametre za DIF. Ta metoda se lahko uporablja za dihotomne in politomne podatke, ter omogoča prepoznavanje uniformnega in neuniformnega DIF-a (slednje, če se testirajo razlike v diskriminaciji poleg težavnosti). CLRT velja za eno bolj robustnih in močnih metod za odkrivanje DIF-a, saj ne temelji na združevanju podatkov, temveč na pogojni verjetnosti.**
* **Kdaj jo uporabiti: Kadar želite statistično močno in formalno testiranje DIF-a, in ko ste že ocenili ustrezen IRT model (npr. Rasch, 2PL, Rating Scale ali Partial Credit). Je posebej primeren za prepoznavanje tako uniformnega kot neuniformnega DIF-a.**
* **V Jamoviju: Po izbiri ustreznega IRT modela (dihotomnega ali politomnega) lahko v zavihku DIF analize izberete Conditional Likelihood Ratio Test. Rezultati bodo vključevali χ2 statistiko, stopinje prostosti in p-vrednost za vsako postavko, kar vam bo omogočilo odločitev o prisotnosti DIF-a.**

### Analiza distraktorjev pri večkratnih izbirah

Pri analizi večkratnih izbir je pomembno preučiti ne le pravilne odgovore, temveč tudi napačne odgovore (distraktorje). Distraktorji so ključni za oceno kakovosti itemov, saj pomagajo ugotoviti, ali so napačni odgovori privlačni za udeležence z nižjimi sposobnostmi.

**Postopek analize distraktorjev**

1. **Frekvenca distraktorjev**:
   * Izračunamo delež udeležencev, ki so izbrali posamezen distraktor.
   * Dobri distraktorji bi morali privlačiti udeležence z nižjimi sposobnostmi.
2. **Učinkovitost distraktorjev**:
   * Preverimo, ali so distraktorji učinkoviti tako, da analiziramo odnose med izbiro distraktorja in sposobnostjo udeleženca.
   * Učinkovit distraktor bi moral biti pogosteje izbran pri udeležencih z nižjimi sposobnostmi.
3. **Grafična predstavitev**:
   * **Distraktor Characteristic Curve (DCC)**: Graf, ki prikazuje verjetnost izbire distraktorja glede na sposobnost udeleženca.
   * DCC pomaga vizualno oceniti učinkovitost distraktorjev.

Uvozimo [JAMOVI-ucbenik/irt\_distractor\_data.csv at main · borbregant/JAMOVI-ucbenik](https://github.com/borbregant/JAMOVI-ucbenik/blob/main/irt_distractor_data.csv) obklujukamo za ketera vprašanja želimo podatke v distractor plot in dobimo  
A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

**Counts of respondents**

| Item Q1 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 11 |  | 2 |  | 1 |  |
| B |  | 13 |  | 5 |  | 1 |  |
| C |  | 17 |  | 7 |  | 1 |  |
| \*D |  | 71 |  | 90 |  | 81 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q2 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 9 |  | 4 |  | 1 |  |
| B |  | 12 |  | 2 |  | 3 |  |
| \*C |  | 63 |  | 96 |  | 78 |  |
| D |  | 28 |  | 2 |  | 2 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q3 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| \*A |  | 57 |  | 75 |  | 81 |  |
| B |  | 32 |  | 15 |  | 2 |  |
| C |  | 11 |  | 9 |  | 1 |  |
| D |  | 12 |  | 5 |  | 0 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q4 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 16 |  | 3 |  | 3 |  |
| B |  | 12 |  | 7 |  | 3 |  |
| C |  | 33 |  | 17 |  | 3 |  |
| \*D |  | 51 |  | 77 |  | 75 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q5 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 11 |  | 7 |  | 1 |  |
| B |  | 19 |  | 4 |  | 1 |  |
| C |  | 26 |  | 16 |  | 5 |  |
| \*D |  | 56 |  | 77 |  | 77 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q6 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| \*A |  | 31 |  | 79 |  | 77 |  |
| B |  | 39 |  | 12 |  | 2 |  |
| C |  | 20 |  | 12 |  | 4 |  |
| D |  | 22 |  | 1 |  | 1 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q7 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 15 |  | 8 |  | 2 |  |
| B |  | 14 |  | 11 |  | 0 |  |
| C |  | 37 |  | 10 |  | 4 |  |
| \*D |  | 46 |  | 75 |  | 78 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q8 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 30 |  | 24 |  | 4 |  |
| \*B |  | 34 |  | 57 |  | 70 |  |
| C |  | 30 |  | 10 |  | 6 |  |
| D |  | 18 |  | 13 |  | 4 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q9 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 16 |  | 10 |  | 6 |  |
| B |  | 15 |  | 12 |  | 3 |  |
| C |  | 43 |  | 17 |  | 6 |  |
| \*D |  | 38 |  | 65 |  | 69 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q10 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| \*A |  | 30 |  | 53 |  | 64 |  |
| B |  | 38 |  | 22 |  | 8 |  |
| C |  | 22 |  | 16 |  | 8 |  |
| D |  | 22 |  | 13 |  | 4 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q11 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| \*A |  | 25 |  | 53 |  | 68 |  |
| B |  | 41 |  | 22 |  | 11 |  |
| C |  | 24 |  | 17 |  | 3 |  |
| D |  | 22 |  | 12 |  | 2 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q12 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 25 |  | 16 |  | 5 |  |
| B |  | 28 |  | 14 |  | 6 |  |
| C |  | 38 |  | 25 |  | 10 |  |
| \*D |  | 21 |  | 49 |  | 63 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q13 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 20 |  | 16 |  | 3 |  |
| B |  | 20 |  | 11 |  | 1 |  |
| \*C |  | 22 |  | 51 |  | 71 |  |
| D |  | 50 |  | 26 |  | 9 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q14 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 27 |  | 19 |  | 6 |  |
| B |  | 27 |  | 18 |  | 8 |  |
| \*C |  | 15 |  | 36 |  | 55 |  |
| D |  | 43 |  | 31 |  | 15 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q15 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 49 |  | 30 |  | 20 |  |
| \*B |  | 12 |  | 43 |  | 56 |  |
| C |  | 23 |  | 16 |  | 5 |  |
| D |  | 28 |  | 15 |  | 3 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q16 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 30 |  | 19 |  | 9 |  |
| B |  | 17 |  | 21 |  | 15 |  |
| \*C |  | 19 |  | 32 |  | 34 |  |
| D |  | 46 |  | 32 |  | 26 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q17 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 20 |  | 21 |  | 10 |  |
| B |  | 27 |  | 18 |  | 4 |  |
| C |  | 50 |  | 36 |  | 22 |  |
| \*D |  | 15 |  | 29 |  | 48 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q18 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| \*A |  | 15 |  | 22 |  | 39 |  |
| B |  | 58 |  | 46 |  | 25 |  |
| C |  | 21 |  | 14 |  | 11 |  |
| D |  | 18 |  | 22 |  | 9 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q19 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| \*A |  | 9 |  | 26 |  | 40 |  |
| B |  | 53 |  | 43 |  | 24 |  |
| C |  | 24 |  | 18 |  | 8 |  |
| D |  | 26 |  | 17 |  | 12 |  |
|  | | | | | | | |

| Item Q20 | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **lower** | | **middle** | | **upper** | |
| A |  | 45 |  | 45 |  | 30 |  |
| \*B |  | 10 |  | 14 |  | 34 |  |
| C |  | 32 |  | 25 |  | 8 |  |
| D |  | 25 |  | 20 |  | 12 |  |
|  | | | | | | | |

| Item difficulty and discrimination index | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Item** | | **Difficulty** | | **ULI** | | **RIT** | | **RIR** | |
| Q1 |  | 0.807 |  | 0.320 |  | 0.372 |  | 0.284 |  |
| Q2 |  | 0.790 |  | 0.400 |  | 0.457 |  | 0.372 |  |
| Q3 |  | 0.710 |  | 0.420 |  | 0.420 |  | 0.322 |  |
| Q4 |  | 0.677 |  | 0.430 |  | 0.443 |  | 0.343 |  |
| Q5 |  | 0.700 |  | 0.450 |  | 0.439 |  | 0.342 |  |
| Q6 |  | 0.623 |  | 0.620 |  | 0.532 |  | 0.438 |  |
| Q7 |  | 0.663 |  | 0.490 |  | 0.449 |  | 0.349 |  |
| Q8 |  | 0.537 |  | 0.560 |  | 0.480 |  | 0.378 |  |
| Q9 |  | 0.573 |  | 0.510 |  | 0.461 |  | 0.358 |  |
| Q10 |  | 0.490 |  | 0.510 |  | 0.441 |  | 0.334 |  |
| Q11 |  | 0.487 |  | 0.580 |  | 0.517 |  | 0.418 |  |
| Q12 |  | 0.443 |  | 0.530 |  | 0.480 |  | 0.378 |  |
| Q13 |  | 0.480 |  | 0.640 |  | 0.541 |  | 0.446 |  |
| Q14 |  | 0.353 |  | 0.470 |  | 0.421 |  | 0.318 |  |
| Q15 |  | 0.370 |  | 0.540 |  | 0.509 |  | 0.413 |  |
| Q16 |  | 0.283 |  | 0.230 |  | 0.243 |  | 0.135 |  |
| Q17 |  | 0.307 |  | 0.360 |  | 0.403 |  | 0.302 |  |
| Q18 |  | 0.253 |  | 0.310 |  | 0.344 |  | 0.245 |  |
| Q19 |  | 0.250 |  | 0.410 |  | 0.421 |  | 0.328 |  |
| Q20 |  | 0.193 |  | 0.280 |  | 0.360 |  | 0.271 |  |
| Note. ULI:Upper-Lower Index, RIT:Item-Total correlation, RIR: Item-Rest correlation. | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |

**Distractor plot**

A graph with red line and green line

AI-generated content may be incorrect.

## Meta-Analiza

### Uvod v metanalizo

Metanaliza je statistična metoda, ki združuje rezultate več študij, da bi pridobili bolj zanesljive in splošne zaključke. Gre za sistematičen pregled in analizo podatkov iz različnih raziskav, ki preučujejo podobno vprašanje. Metanaliza omogoča povečanje statistične moči, zmanjšanje negotovosti in identificiranje vzorcev, ki jih posamezne študije same ne morejo razkriti.

### Postopek metanalize

Metanaliza poteka po naslednjih korakih:

Določitev cilja in vprašanja: Jasno opredelite raziskovalno vprašanje in kriterije za vključitev študij.

1. Iskanje študij: Sistematično iščemo študije v znanstvenih bazah podatkov, kot so PubMed, Web of Science ali drugi relevantni viri.
2. Izbira študij: Študije se izberejo na podlagi vnaprej določenih kriterijev (npr. metodološka kakovost, velikost vzorca, relevantnost).
3. Ekstrakcija podatkov: Iz vsake študije se izluščijo ključni podatki, kot so velikost učinka, standardne napake, intervali zaupanja in druge statistične mere.
4. Analiza podatkov: Podatki se združijo in analizirajo s statističnimi metodami, kot so modeli s fiksnimi ali naključnimi učinki.
5. Interpretacija rezultatov: Rezultati se interpretirajo v kontekstu raziskovalnega vprašanja, pri čemer se upoštevajo morebitne omejitve in pristranskosti.

### Modeli metanalize

Metanaliza lahko uporablja dva glavna modela:

Model s fiksnimi učinki: Predpostavlja, da so vsi učinki v študijah enaki in da razlike med študijami nastajajo le zaradi naključne variabilnosti.

Model z naključnimi učinki: Upošteva, da lahko med študijami obstajajo resnične razlike v učinkih, ki niso posledica le naključja.

### Ocena heterogenosti

Heterogenost meri, kako različni so rezultati med študijami. Pomembni statistični kazalci za oceno heterogenosti vključujejo:

1. Q-test: Preverja, ali so razlike med študijami statistično pomembne.
2. I²-statistika: Meri delež variabilnosti, ki je posledica heterogenosti namesto naključja. Višje vrednosti I² kažejo na večjo heterogenost.

### Grafična predstavitev rezultatov

1. Forest plot: Prikazuje učinke posameznih študij in skupni učinek metanalize. Vsaka študija je predstavljena s črto, ki prikazuje interval zaupanja, skupni učinek pa je prikazan z diamantom.
2. Funnel plot: Uporablja se za preverjanje pristranskosti. Simetričen funnel plot kaže na odsotnost pristranskosti, medtem ko asimetrični plot lahko nakazuje prisotnost manjkajočih študij.

### Omejitve in izzivi

Metanaliza ima tudi svoje omejitve, kot so:

Pristranskost publikacij: Študije z negativnimi rezultati so pogosto manj verjetno objavljene.

Heterogenost študij: Razlike v metodologiji ali populacijah lahko otežujejo primerjavo.

Kakovost podatkov: Rezultati metanalize so odvisni od kakovosti vključenih študij.

### Primer

Za meta-analize v JAMOVI, bomo najprej uvozili modul MAJOR, ki omogoča analizo korelacijskih koeficientov, dihotomske modele, analizo velikosti učinka, analizo srednjih razlik, analizo deležev dogodkov. In analizo notranje zanesljivosti vprašalnikov. Na primeru si bomo natančneje pogledali analizo srednjih razlik, analizo velikosti učinka in analizo notranje konsistentnosti, ostale paprepuščamo bralcu.A close up of a text

AI-generated content may be incorrect.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

Za nabor podatkov bomo uporabili datoteko XXX, ki je računalniško generirana in vsebuje umetne podatke o 100 študijah, kjer so zbrane srednje vrednosti, mere razpršenosti, mere učinka (te je včasih v pedagošlkem raziskovanju potrebno dodati, ne bodo vsi nabori v študijah a priori lepi za obravnavo), in mere za notranje konsistentnosti.

Najprej si poglejmo analizo srednjih razlik. Izberemo ustrezne stolpce, kot prikazuje slika X.

A screenshot of a survey

AI-generated content may be incorrect.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | Random-Effects Model (k = 100) | | | | | | | | | | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | | **Estimate** | | **se** | | **Z** | | **p** | | **CI Lower Bound** | | **CI Upper Bound** | | | Intercept |  | -0.475 |  | 0.0197 |  | -24.1 |  | < .001 |  | -0.514 |  | -0.436 |  | |  |  | . |  | . |  | . |  | . |  | . |  | . |  | | Note. Tau² Estimator: Restricted Maximum-Likelihood | | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |     V prvi izhodni tabeli iz negativnega “Estimate” vidimo, da je učinek v negativno smer, torej je v eksperimentalni skupini vrednost opazovane spremenljivke manjša za povprečno 0.475. P vrenost nam pove, da je velikost učinka statistično pomembna. Druga izhodna tabela (prepuščamo bralcu, da jo generira) nam z raznimi metrikami pove, da heterogenost ni prisotna, torej statističnih razlik med študijami ni.  Vse te podatke nam modul v JAMOVI tudi pove v vezanem besedilu na sliki X z interpretacijo, kar olajša interpretacijo. Uporabi še nekaj metrik, ki jih nismo izbrali; Ključna opazka je npr., da imata dve vključeni študiji zelo velik učinek, torej moramo biti do njih posebno pozorni. |

V študijo pogosto vključimo še Forest plot na sliki X, ki smo ga že komentirali in Funnel plot na sliki X, ki prikazuje, da so naše raziskave “simetrične”, torej ni bilo pristranskosti pri izbiri raziskav.

A black background with a black square

AI-generated content may be incorrect.

**A graph showing a pyramid

AI-generated content may be incorrect.**

Podobno lahko naredimo za effect size:  
Postopek je zelo podoben, a pazimo, da v Model options izberemo Standard errors, saj imamo le take podatke (če bi imeli oz. Naredili novo spremenljivko variance, bi bilo seveda drugače). Za effect size smo uporabili Cohenov d, analogno bi lahko delali tudi z drugimi velikostmi učinka.

Podobno lahko delamo z analizo zanesljivosti. Spomnimo se, da Cronbachov alpha koeficient meri, ali vprašanja v vprašalniku, ki določajo eno spremenljivko merijo isti konstrukt. Seveda je nujno, da študije zajete v meta-analizo uporabljajo enak vprašalnik oziroma so razlike lahko zgolj vpliv prilagoditev na kulturni konteksts ipd.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

V rezultatih namrezultat 0.89 pove, da je povprečna zanesljivost študij zelo dobra in statistično razvidna (majhna p vrednost). Visoke vrednosti statistik heterogenosti (Tau, Iˇ2, H^2, Q) nam kažejo, da je heterogenost prisotna, torej razlike v študijah niso zgolj posledica napak.

**Funnel Plot**

A graph showing a pyramid

AI-generated content may be incorrect.A screenshot of a data

AI-generated content may be incorrect.

Funnel plot nam tokrat sugerira asimetrijo, kar lahko pomeni pristranskost pri izbiri publikacij. To nam potrdi majhna p vrednost Eggerjevega testa. Manj točk spodaj desno sugerira, da imamo manj raziskav z majhno napako in velikim vplivom (zanesljivostjo). To se v statistiki pogosto dogaja, saj so »boljši« rezultati večkrat objavljeni.

### Dodatne možnosti v JAMOVI

#### Analiza korelacijskih koeficientov

Analiza korelacijskih koeficientov v metaanalizi omogoča združevanje rezultatov več študij, ki so preučevale povezanost med dvema spremenljivkama. Ključni podatki, ki jih uporabimo v analizi, so ocenjena korelacija (r) in velikost vzorca (n) za vsako posamezno študijo.

**Postopek analize**

1. **Transformacija korelacij**: Ker korelacijski koeficienti niso normalno porazdeljeni, jih običajno transformiramo z uporabo Fisherjeve *z*-transformacije, da omogočimo pravilno statistično analizo. To je v MAJOR JAMOVI modulu že privzeto, kot prikazuje slika

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

1. **Izračun uteženih povprečij**: Vsak korelacijski koeficient prispeva k skupnemu rezultatu glede na svojo velikost vzorca, pri čemer večji vzorci dobijo večjo težo.
2. **Ocena heterogenosti**: Uporabimo statistike, kot so Q-test in I², da preverimo, ali obstajajo pomembne razlike med študijami.
3. **Interpretacija rezultatov**: Povprečna korelacija in njeni intervali zaupanja nam omogočajo vpogled v moč in smer povezanosti med spremenljivkama.
4. **Grafična predstavitev**

* **Forest plot**: Prikazuje ocene korelacij posameznih študij in skupno oceno.
* **Funnel plot**: Preverja morebitno pristranskost publikacij pri objavljenih rezultatih.

#### Dihotomski modeli

Dihotomski modeli se uporabljajo, kadar imamo rezultate v obliki diskretnih dogodkov, torej kadar vsaka študija poroča o številu dogodkov v eksperimentalni in kontrolni skupini ter skupni velikosti vzorca. To je pogosto pri kliničnih raziskavah, kjer merimo učinek intervencije.

**Ključni koraki analize**

1. **Pridobivanje podatkov**: Zberemo podatke o številu dogodkov v eksperimentalni (E) in kontrolni (K) skupini ter velikost vzorca v obeh skupinah.
2. **Izračun velikosti učinka**: Najpogosteje uporabljene mere vključujejo:
   * **Razmerje obetov (Odds Ratio, OR)**: Izračunano kot (E1 / (N1 - E1)) / (K1 / (N2 - K1)).
   * **Relativno tveganje (RR)**: Določa razmerje med tveganjem v eksperimentalni in kontrolni skupini.
   * V modulu MAJOR to izbiramo v podpoglavju Model options, model measures, kjer je privzeta možnost Razmerje obetov kot prikazuje slika. V modulu je privzeto logaritmiranje podatkov, kar lahko izklopimo z uporabo inverzne transformacije *Back-Transform* na sliki.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

1. **Izračun heterogenosti**: Podobno kot pri drugih metaanalizah uporabimo Q-test in I² za oceno variabilnosti med študijami. Če heterogenost ni prisotna, je morda bolj primeren model Fixed Effects, kar prav tako izberemo v podpoglavju model options, tokrat model estimator.
2. **Vizualizacija rezultatov**

* **Forest plot**: Prikazuje razmerja obetov za vsako študijo ter skupno oceno.
* **Funnel plot**: Pomaga odkriti pristranskost objavljenih raziskav.

#### Analiza proporcev

V analizi proporcev preučujemo pogostost določenega dogodka v različnih študijah. Podatki vključujejo število primerov dogodka (X) in skupno velikost vzorca (N) za vsako študijo.

**Postopek analize**

1. **Pridobivanje podatkov**: Za vsako študijo zabeležimo število primerov dogodka (X) in velikost vzorca (N).
2. **Izračun proporcev**: Vsaka študija prispeva vrednost X/N, ki predstavlja relativno pogostost dogodka. Za razliko od dihotomskih modelov, modul JAMOVI privzame surove (ang. *raw*) podatke in jih ne logaritmira. To lahko spremenimo v razdelku Model Options, kjer izberemo Effect size model measures. Prav tako lahko spreminjamo model. Kot drugje je npr. Če je prisotna heterogenost je privzet model največjega verjetja ustrezen, sicer lahko izberemo model Fixed-Effect.
3. **Združevanje rezultatov**: Uporabimo uteženo povprečje proporcev, pri čemer večji vzorci dobijo večjo težo.
4. **Preverjanje heterogenosti**: Statistični testi (Q-test, I²) ocenijo variabilnost rezultatov med študijami.
5. **Grafična predstavitev**

* **Forest plot**: Vizualizira rezultate posameznih študij in skupno oceno proporcev.
* **Funnel plot**: Omogoča preverjanje morebitne pristranskosti publikacij.

Vsaka od teh analiz omogoča vpogled v vzorce podatkov iz različnih študij in pomaga pri oblikovanju zanesljivih zaključkov na podlagi združenih rezultatov.

## STRUKTURNA ENAČBA MODELA (SEM)

Modeliranje strukturnih enačb (SEM) je napredna statistična tehnika, ki omogoča preučevanje kompleksnih odnosov med latentnimi konstrukti in njihovimi merjenimi kazalci. SEM združuje elemente konfirmatorne faktorske analize (CFA) in potnih modelov, kar omogoča hkratno analizo merilnih in strukturnih odnosov.

### Osnovne značilnosti SEM

SEM je linearni model, ki vključuje:

* **Povezave med opazovanimi spremenljivkami** (npr. regresijske koeficiente),
* **Povezave med latentnimi in opazovanimi spremenljivkami** (npr. faktorske uteži v CFA),
* **Povezave med latentnimi spremenljivkami** (npr. strukturni modeli).

Ta pristop omogoča preverjanje hipotez o vzročnih povezavah, posrednih učinkih in kovariancah, hkrati pa upošteva tudi merilne napake.

Ključni koncepti

1. **Merilni model (CFA)**
   * Preverja, ali izbrani kazalci ustrezno merijo osnovne latentne konstrukte.
   * Vključuje ocenjevanje faktorskih uteži, zanesljivosti konstruktov (npr. Cronbach’s alpha, McDonald’s omega) in diskriminantne veljavnosti.
2. **Strukturni model**
   * Analizira odnose med latentnimi spremenljivkami.
   * Vključuje:
     + **Neposredne vplive** (npr. vpliv enega konstrukta na drugega),
     + **Posredne vplive** (npr. preko mediatorjev),
     + **Kovariance** (povezanost med konstrukti).
3. **Ocena ustreznosti modela**
   * **χ²-test**: Preverja, ali model ustreza podatkom (ničelna hipoteza predpostavlja dobro prileganje).
   * **Primerjalni indeksi (CFI, TLI)**: Vrednosti nad 0.95 kažejo dobro ujemanje.
   * **RMSEA in SRMR**: Vrednosti pod 0.08 so zaželene.

### Grafična predstavitev in interpretacija

* **Potni diagram**: Vizualizacija povezav med konstrukti in kazalci.
* **Standardizirane rešitve**: Prikazujejo moč in smer povezav.
* **Modifikacijski indeksi**: Namigujejo na možne izboljšave modela.

### Omejitve in izzivi

* Za zanesljive rezultate je potreben **dovolj velik vzorec** (n > 200).
* **Normalnost porazdelitve** je pomembna pri uporabi metod največje verjetnosti (ML).
* **Prekomerna kompleksnost modela** lahko zmanjša zanesljivost ocen.

### Primer uporabe: (NI OK KER JE UBISTVU SAMO MULTIVAR ANALIZA!) – brezvezen primer za SEM, ampak se da tudi s tem to narediti...

**Naložite podatke** v jamovi in odprite SEMLj modul. Modul ponuja sintaksno rešitev, ki je primerna, če nam ustreza bolj ustreza programerski pristop in interaktivno, ki jo bomo uporabili mi.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

Uporabili bomo podatke [here at UCLA](https://stats.idre.ucla.edu/wp-content/uploads/2021/02/worland5.csv). Vzorec sestavlja 500 študentov. Opazovanih je bilo 9 spremenljivk: Motivation (motiv), Harmony (harm), Stability (stabi), Negative Parental Psychology (ppsych), SES, Verbal IQ (verbal), Reading (read), Arithmetic (arith) and Spelling (spell). Vse spremenljivke so bile merjene na zvezni skali.

Suppose you are a researcher studying the effects of student background on academic achievement. The lab recently finished collecting and uploading the dataset of N=500 students each with 9 observed variables: Motivation, Harmony, Stability, Negative Parental Psychology, SES, Verbal IQ, Reading, Arithmetic and Spelling. The principal investigator hypothesizes three latent constructs Adjustment, Risk, Achievement measured with its corresponding to the following codebook mapping:

**Adjustment**

* **motiv**Motivation
* **harm**Harmony
* **stabi**Stability

**Risk**

* **ppsych**(Negative) Parental Psychology
* **ses**SES
* **verbal**Verbal IQ

**Achievement**

* **read**Reading
* **arith**Arithmetic
* **spell**Spelling

Postavimo model:

* **Odvisne (endogene) spremenljivke** – Spremenljivke, ki so pojasnjene z drugimi spremenljivkami v modelu (npr. *read*, *arith*).
* **Neodvisne (eksogene) spremenljivke** – Spremenljivke, ki vplivajo na druge, same pa niso pojasnjene z modelom (npr. *motiv*, *ppsych*). Motiv vpliva tako na read, kot na arith, ppsych pa le na read.

Najprej izberemo latentne spremenljivke, ki smo jih določili. V zavihku endogenous models izberemo katere neodvisne spremenljivke vplivajo na katere odvisne spremenljivke. Izberemo še opcijo izrisa diagrama poti.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect. A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect. A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

Najprej lahko interpretiramo statistiko, ki jo že poznamo v Parameters estimates tabeli. Iz korelacijskega koeficienta beta in p-vrednosti lahko preberemo, da so postavljeni dejavniki smiselni. Koeficienti beta so prikazani tudi v diagramu poti.

| Parameters estimates | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | | | **95% Confidence Intervals** | | | |  | | | | | |
| **Dep** | | **Pred** | | **Estimate** | | **SE** | | **Lower** | | **Upper** | | **β** | | **z** | | **p** | |
| readd |  | psy |  | -0.216 |  | 0.0296 |  | -0.274 |  | -0.158 |  | -0.218 |  | -7.29 |  | < .001 |  |
| readd |  | mot |  | 0.476 |  | 0.0369 |  | 0.404 |  | 0.548 |  | 0.482 |  | 12.92 |  | < .001 |  |
| arithh |  | mot |  | 0.600 |  | 0.0358 |  | 0.530 |  | 0.670 |  | 0.600 |  | 16.77 |  | < .001 |  |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Če želimo preveriti ali motiv in psych vplivata različno na read, moramo najprej prebrati, kako je jamovi shranil parameter, kar preverimo s klikom show parameter options v menuju Ouput options. V parameter estimates nato vidimo, da v našem primeru ustreza p5 in p6. V constraint test vidimo, da je hipoteza, da bi bila vpliva enaka zavrnjena.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect. A close-up of words

AI-generated content may be incorrect.

Zdaj lahko izberemo v custom model settings p5==p5.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect. A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

A diagram of a network

AI-generated content may be incorrect.

### Vaja

[JAMOVI-ucbenik/SEM\_dataset\_politicaldemocracy.csv at main · borbregant/JAMOVI-ucbenik](https://github.com/borbregant/JAMOVI-ucbenik/blob/main/SEM_dataset_politicaldemocracy.csv) ki je pobran iz

[SEM: Political Democracy](https://semlj.github.io/example2.html)

| **Spremenljivka** | **Pomen v slovenščini** |
| --- | --- |
| **y1** | Svoboda tiska, 1960 |
| **y2** | Svoboda politične opozicije, 1960 |
| **y3** | Poštenost volitev, 1960 |
| **y4** | Učinkovitost izvoljenega zakonodajnega telesa, 1960 |
| **y5** | Svoboda tiska, 1965 |
| **y6** | Svoboda politične opozicije, 1965 |
| **y7** | Poštenost volitev, 1965 |
| **y8** | Učinkovitost izvoljenega zakonodajnega telesa, 1965 |
| **x1** | BDP na prebivalca, 1960 |
| **x2** | Poraba energije na prebivalca, 1960 |
| **x3** | Delež delovne sile v industriji, 1960 |

Podatkovni niz vsebuje **75 držav** z meritvami politične demokracije in gospodarskega razvoja v letih 1960 in 1965. Vsebuje štiri ključne indikatorje demokratičnosti, merjene v dveh časovnih obdobjih, ter tri gospodarske indikatorje iz leta 1960.

Model bo preučeval, kako gospodarski razvoj držav (merjen z BDP-jem, porabo energije in stopnjo industrializacije) vpliva na stopnjo demokratičnosti, pri čemer bo upošteval tudi trajnost demokracije skozi čas. Analiziral bo povezavo med gospodarskimi dejavniki in demokracijo v letu 1960, nato pa še vpliv teh dejavnikov in zgodnejšega stanja demokracije na demokracijo leta 1965, pri tem pa upošteval tudi povezave med posameznimi indikatorji demokratičnosti v obeh obdobjih.

Model, ki ga želimo oceniti, je v osnovi posredniški model, kjer (latentna) stopnja industrializacije leta 1960 vpliva na (latentno) raven demokracije leta 1960, ta pa nato vpliva na (latentno) raven demokracije leta 1965.

Pomembno je omeniti, da ta model zahteva zgoraj omenjene latentne povezave in nekorelacije med opazovanimi spremenljivkami. Natančneje, želimo korelacije med naslednjimi pari opazovanih spremenljivk:

* y1 in y5
* y2 in y4
* y2 in y6
* y3 in y7
* y4 in y8
* y6 in y8

To so korelacije med ostanki opazovanih spremenljivk po odstranitvi njihovih obremenitev na latentne spremenljivke. V terminologiji faktorske analize gre za korelacije med unikantnostmi.

V okviru diagrama torej želimo

A diagram of a algorithm

AI-generated content may be incorrect.

Zdaj lahko začnemu z interaktivnim modulom SEM. Najprej določimo, da ssta latentni spremenljivki dem60 in dem65 endogeni. Prvi pripadajo y1 do y4, drugi pa y5 do y8. Eksogena spremenljivka bo ind60, ki ji pripadajo x1,x2,x3.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

Zdaj določimo, da dem60 napoveduje ind60, dem65 pa napovedujeta ind60 in dem60. To določimo v zavihku endogenous models.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

Zdaj določimo le še povezave med opazovanimi spremenljivkami y1 do y8. To določimo v zavihku variances and covariances.

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

Zadnje obkljukamo še opcijo path diagram:

A screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

Dobimo sledeče izhode.

**Structural Equation Models**

| Models Info | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | |  | |
| Estimation Method |  | ML |  | . |  |
| Optimization Method |  | NLMINB |  |  |  |
| Number of observations |  | 75 |  |  |  |
| Free parameters |  | 42 |  |  |  |
| Standard errors |  | Standard |  |  |  |
| Scaled test |  | None |  |  |  |
| Converged |  | TRUE |  |  |  |
| Iterations |  | 68 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| Model |  | ind60=~x1+x2+x3 |  |  |  |
|  |  | dem60=~y1+y2+y3+y4 |  |  |  |
|  |  | dem65=~y5+y6+y7+y8 |  |  |  |
|  |  | dem60~ind60 |  |  |  |
|  |  | dem65~ind60+dem60 |  |  |  |
|  |  | y1~~y5 |  |  |  |
|  |  | y2~~y4 |  |  |  |
|  |  | y2~~y6 |  |  |  |
|  |  | y3~~y7 |  |  |  |
|  |  | y4~~y8 |  |  |  |
|  |  | y6~~y8 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  | | | | | |

**Overall Tests**

| Model tests | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Label** | | **X²** | | **df** | | **p** | |
| User Model |  | 38.1 |  | 35 |  | 0.329 |  |
| Baseline Model |  | 730.7 |  | 55 |  | < .001 |  |
|  | | | | | | | |

p (p-vrednost): **0.929** – **Ključna vrednost**. V SEM analizi želimo, da je p-vrednost preizkusa hi-kvadrat **nesignifikantna (p > 0.05)**. V tem primeru je p = 0.929, kar je bistveno večje od 0.05. To kaže, da ni statistično značilne razlike med opazovano in predvideno kovariančno matriko, kar pomeni, da se model **zelo dobro ujema** s podatki.

**Baseline Model (Osnovni model)**:

Ta model je običajno ničelni model, v katerem so vse spremenljivke nepovezane. Uporablja se za primerjavo z uporabnikovim modelom. Njegova p-vrednost je običajno < .001, kar kaže na zelo slabo ujemanje, kar je pričakovano.

| Fit indices | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | **95% Confidence Intervals** | | | |  | |
| **SRMR** | | **RMSEA** | | **Lower** | | **Upper** | | **RMSEA p** | |
| 0.041 |  | 0.035 |  | 0.000 |  | 0.092 |  | 0.611 |  |
|  | | | | | | | | | |

**Indeksi ujemanja modela (Fit Indices)**

Poleg hi-kvadrata se za oceno ujemanja modela uporablja več indeksov.

* **SRMR (Standardized Root Mean Square Residual)**:
  + SRMR: **0.041** – Ta indeks meri povprečno razliko med opazovanimi in predvidenimi korelacijami. Vrednosti manjše od 0.08 (ali včasih 0.05) se običajno štejejo za dober fit. Vrednost 0.041 kaže na **zelo dobro ujemanje**.
* **RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation)**:
  + RMSEA: **0.035** – Meri stopnjo neujemanja modela na populacijski ravni. Vrednosti pod 0.06 (ali včasih 0.08) se štejejo za dober fit. Vrednost 0.035 kaže na **zelo dobro ujemanje**.
  + 95% Confidence Intervals (95% Interval zaupanja): Lower: 0.000, Upper: 0.092 – Interval zaupanja za RMSEA. Želimo, da zgornja meja ne preseže 0.08.
  + RMSEA p: **0.611** – To je p-vrednost, ki preizkuša hipotezo, da je RMSEA ≤ 0.05 (ali drug prag, npr. 0.08). P-vrednost > 0.05 (tukaj 0.611) kaže na **dober fit modela**.

| User model versus baseline model | | | |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | **Model** | |
| Comparative Fit Index (CFI) |  | 0.995 |  |
| Tucker-Lewis Index (TLI) |  | 0.993 |  |
| Bentler-Bonett Non-normed Fit Index (NNFI) |  | 0.993 |  |
| Relative Noncentrality Index (RNI) |  | 0.995 |  |
| Bentler-Bonett Normed Fit Index (NFI) |  | 0.948 |  |
| Bollen's Relative Fit Index (RFI) |  | 0.918 |  |
| Bollen's Incremental Fit Index (IFI) |  | 0.996 |  |
| Parsimony Normed Fit Index (PNFI) |  | 0.603 |  |
|  | | | |

**Primerjava uporabnikovega modela z osnovnim modelom (User model versus baseline model)**

Ti indeksi primerjajo predlagani model z osnovnim (ničelnim) modelom. Vrednosti nad 0.90 (in še bolje nad 0.95) običajno kažejo na dober fit.

**Estimates**

| Parameters estimates | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | | | **95% Confidence Intervals** | | | |  | | | | | |
| **Dep** | | **Pred** | | **Estimate** | | **SE** | | **Lower** | | **Upper** | | **β** | | **z** | | **p** | |
| dem60 |  | ind60 |  | 1.483 |  | 0.3991 |  | 0.701 |  | 2.27 |  | 0.447 |  | 3.72 |  | < .001 |  |
| dem65 |  | ind60 |  | 0.572 |  | 0.2213 |  | 0.139 |  | 1.01 |  | 0.182 |  | 2.59 |  | 0.010 |  |
| dem65 |  | dem60 |  | 0.837 |  | 0.0984 |  | 0.645 |  | 1.03 |  | 0.885 |  | 8.51 |  | < .001 |  |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Ta sekcija prikazuje ocene posameznih poti in uteži v modelu.

* **Parameters estimates (Ocene poti med latentnimi spremenljivkami)**:
  + **dem60 ~ ind60**:
    - Estimate: **1.483** – Nepredoložen koeficient. Povečanje ind60 za eno enoto je povezano s povečanjem dem60 za 1.483 enot.
    - SE: **0.399** – Standardna napaka ocene.
    - β: **0.447** – Standardiziran koeficient. Povečanje ind60 za en standardni odklon je povezano s povečanjem dem60 za 0.447 standardnih odklonov. To omogoča primerjavo vplivov med različnimi potmi.
    - z: **3.72** – Z-vrednost, testna statistika.
    - p: **< .001** – **P-vrednost**. Ker je p < 0.001, je vpliv latentne spremenljivke ind60 na dem60 **statistično značilen**.
  + **dem65 ~ ind60**:
    - Estimate: **0.572**
    - SE: **0.221**
    - β: **0.182**
    - z: **2.59**
    - p: **0.010** – P < 0.05 (0.010), kar pomeni, da je vpliv ind60 na dem65 **statistično značilen**.
  + **dem65 ~ dem60**:
    - Estimate: **0.837**
    - SE: **0.098**
    - β: **0.885**
    - z: **8.51**
    - p: **< .001** – P < 0.001, kar pomeni, da je vpliv dem60 na dem65 **statistično značilen**.

| Measurement model | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | | | **95% Confidence Intervals** | | | |  | | | | | |
| **Latent** | | **Observed** | | **Estimate** | | **SE** | | **Lower** | | **Upper** | | **β** | | **z** | | **p** | |
| ind60 |  | x1 |  | 1.00 |  | 0.000 |  | 1.000 |  | 1.00 |  | 0.920 |  |  |  |  |  |
|  |  | x2 |  | 2.18 |  | 0.139 |  | 1.909 |  | 2.45 |  | 0.973 |  | 15.74 |  | < .001 |  |
|  |  | x3 |  | 1.82 |  | 0.152 |  | 1.521 |  | 2.12 |  | 0.872 |  | 11.97 |  | < .001 |  |
| dem60 |  | y1 |  | 1.00 |  | 0.000 |  | 1.000 |  | 1.00 |  | 0.850 |  |  |  |  |  |
|  |  | y2 |  | 1.26 |  | 0.182 |  | 0.899 |  | 1.61 |  | 0.717 |  | 6.89 |  | < .001 |  |
|  |  | y3 |  | 1.06 |  | 0.151 |  | 0.761 |  | 1.35 |  | 0.722 |  | 6.99 |  | < .001 |  |
|  |  | y4 |  | 1.26 |  | 0.145 |  | 0.981 |  | 1.55 |  | 0.846 |  | 8.72 |  | < .001 |  |
| dem65 |  | y5 |  | 1.00 |  | 0.000 |  | 1.000 |  | 1.00 |  | 0.808 |  |  |  |  |  |
|  |  | y6 |  | 1.19 |  | 0.169 |  | 0.855 |  | 1.52 |  | 0.746 |  | 7.02 |  | < .001 |  |
|  |  | y7 |  | 1.28 |  | 0.160 |  | 0.966 |  | 1.59 |  | 0.824 |  | 8.00 |  | < .001 |  |
|  |  | y8 |  | 1.27 |  | 0.158 |  | 0.956 |  | 1.58 |  | 0.828 |  | 8.01 |  | < .001 |  |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* **Measurement model (Merski model)**:
  + Ta tabela prikazuje faktorske uteži (angl. *factor loadings*), ki kažejo, kako močno posamezni opazovani indikatorji (npr. x1, y1) merijo latentne spremenljivke (npr. ind60, dem60). Prvi indikator za vsako latentno spremenljivko ima običajno fiksno vrednost 1.000 za identifikacijo modela.
  + Za ind60:
    - x1: Estimate = 1.000 (fiksno), β = 0.920 (visoka standardizirana utež, kar kaže na močno povezavo).
    - x2: Estimate = 2.180, SE = 0.139, β = 0.973, p < .001 – x2 je statistično značilen indikator za ind60 z zelo visoko utežjo.
    - x3: Estimate = 1.820, SE = 0.152, β = 0.872, p < .001 – x3 je prav tako statistično značilen indikator za ind60 z visoko utežjo.
  + Za dem60:
    - y1: Estimate = 1.000 (fiksno), β = 0.850.
    - y2: Estimate = 1.260, SE = 0.182, β = 0.717, p < .001 – y2 je statistično značilen indikator za dem60.
    - y3: Estimate = 1.060, SE = 0.151, β = 0.722, p < .001 – y3 je statistično značilen indikator za dem60.
    - y4: Estimate = 1.260, SE = 0.145, β = 0.846, p < .001 – y4 je statistično značilen indikator za dem60.
  + Za dem65:
    - y5: Estimate = 1.000 (fiksno), β = 0.808.
    - y6: Estimate = 1.190, SE = 0.169, β = 0.746, p < .001 – y6 je statistično značilen indikator za dem65.
    - y7: Estimate = 1.280, SE = 0.160, β = 0.824, p < .001 – y7 je statistično značilen indikator za dem65.
    - y8: Estimate = 1.270, SE = 0.158, β = 0.828, p < .001 – y8 je statistično značilen indikator za dem65.

Vse faktorske uteži so statistično značilne (p < 0.05), kar pomeni, da vsi opazovani indikatorji pomembno prispevajo k merjenju ustreznih latentnih spremenljivk.

| Variances and Covariances | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | | | **95% Confidence Intervals** | | | |  | | | | | |
| **Variable 1** | | **Variable 2** | | **Estimate** | | **SE** | | **Lower** | | **Upper** | | **β** | | **z** | | **p** | |
| y1 |  | y5 |  | 0.6237 |  | 0.3583 |  | -0.0786 |  | 1.326 |  | 0.2958 |  | 1.741 |  | 0.082 |  |
| y2 |  | y4 |  | 1.3131 |  | 0.7020 |  | -0.0627 |  | 2.689 |  | 0.2726 |  | 1.871 |  | 0.061 |  |
| y2 |  | y6 |  | 2.1529 |  | 0.7338 |  | 0.7147 |  | 3.591 |  | 0.3562 |  | 2.934 |  | 0.003 |  |
| y3 |  | y7 |  | 0.7950 |  | 0.6077 |  | -0.3961 |  | 1.986 |  | 0.1906 |  | 1.308 |  | 0.191 |  |
| y4 |  | y8 |  | 0.3482 |  | 0.4422 |  | -0.5185 |  | 1.215 |  | 0.1088 |  | 0.787 |  | 0.431 |  |
| y6 |  | y8 |  | 1.3562 |  | 0.5683 |  | 0.2423 |  | 2.470 |  | 0.3378 |  | 2.386 |  | 0.017 |  |
| x1 |  | x1 |  | 0.0815 |  | 0.0195 |  | 0.0434 |  | 0.120 |  | 0.1539 |  | 4.184 |  | < .001 |  |
| x2 |  | x2 |  | 0.1198 |  | 0.0697 |  | -0.0168 |  | 0.256 |  | 0.0532 |  | 1.718 |  | 0.086 |  |
| x3 |  | x3 |  | 0.4667 |  | 0.0902 |  | 0.2900 |  | 0.643 |  | 0.2394 |  | 5.177 |  | < .001 |  |
| y1 |  | y1 |  | 1.8914 |  | 0.4444 |  | 1.0203 |  | 2.762 |  | 0.2768 |  | 4.256 |  | < .001 |  |
| y2 |  | y2 |  | 7.3729 |  | 1.3739 |  | 4.6801 |  | 10.066 |  | 0.4857 |  | 5.366 |  | < .001 |  |
| y3 |  | y3 |  | 5.0675 |  | 0.9517 |  | 3.2021 |  | 6.933 |  | 0.4782 |  | 5.324 |  | < .001 |  |
| y4 |  | y4 |  | 3.1479 |  | 0.7388 |  | 1.6999 |  | 4.596 |  | 0.2848 |  | 4.261 |  | < .001 |  |
| y5 |  | y5 |  | 2.3510 |  | 0.4802 |  | 1.4097 |  | 3.292 |  | 0.3471 |  | 4.895 |  | < .001 |  |
| y6 |  | y6 |  | 4.9540 |  | 0.9142 |  | 3.1621 |  | 6.746 |  | 0.4435 |  | 5.419 |  | < .001 |  |
| y7 |  | y7 |  | 3.4314 |  | 0.7128 |  | 2.0342 |  | 4.829 |  | 0.3216 |  | 4.814 |  | < .001 |  |
| y8 |  | y8 |  | 3.2541 |  | 0.6946 |  | 1.8927 |  | 4.615 |  | 0.3147 |  | 4.685 |  | < .001 |  |
| ind60 |  | ind60 |  | 0.4484 |  | 0.0867 |  | 0.2785 |  | 0.618 |  | 1.0000 |  | 5.173 |  | < .001 |  |
| dem60 |  | dem60 |  | 3.9560 |  | 0.9212 |  | 2.1505 |  | 5.762 |  | 0.8004 |  | 4.295 |  | < .001 |  |
| dem65 |  | dem65 |  | 0.1725 |  | 0.2148 |  | -0.2485 |  | 0.593 |  | 0.0390 |  | 0.803 |  | 0.422 |  |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**Variance in kovariance (Variances and Covariances)**

Ta sekcija prikazuje ocenjene variance latentnih spremenljivk, variance napak opazovanih spremenljivk in morebitne kovariance med napakami.

* **Kovariance med napakami (Error Covariances)**:
  + y1~~y5: Estimate = 0.6237, p = 0.082 – Kovarianca med napakama y1 in y5 ni statistično značilna (p > 0.05).
  + y2~~y4: Estimate = 1.3131, p = 0.061 – Kovarianca ni statistično značilna (p > 0.05).
  + y2~~y6: Estimate = 2.1529, p = 0.003 – **Statistično značilna** kovarianca med napakama y2 in y6 (p < 0.05), kar pomeni, da sta napaki teh dveh indikatorjev povezani, kar morda kaže na skupen izvor variance, ki ni zajet v modelu.
  + y3~~y7: Estimate = 0.7950, p = 0.191 – Kovarianca ni statistično značilna.
  + y4~~y8: Estimate = 0.3482, p = 0.431 – Kovarianca ni statistično značilna.
  + y6~~y8: Estimate = 1.3562, p = 0.017 – **Statistično značilna** kovarianca med napakama y6 in y8 (p < 0.05), kar prav tako kaže na potencialno dodatno, nezajeto povezavo.
* **Variance opazovanih in latentnih spremenljivk (Variances of Observed and Latent Variables)**:
  + x1x1, x2x2, x3x3: To so variance napak opazovanih spremenljivk x1, x2, x3. Vse so statistično značilne (p < 0.001 ali p < 0.05, razen x2x2 kjer je p=0.086 - ni značilno). To pomeni, da obstaja določena količina variance v teh indikatorjih, ki ni pojasnjena z latentno spremenljivko ind60.
  + y1y1 do y8y8: Variance napak za indikatorje y1 do y8. Večina jih je statistično značilnih (p < 0.001 ali p < 0.05, razen dem65dem65 kjer je p=0.422 - ni značilno). Pomeni, da obstaja nepojasnjena varianca v teh indikatorjih, ki je specifična za posamezni indikator in ni zajeta z latentno spremenljivko.
  + ind60ind60: Estimate = 0.4484, p < .001 – Varianca latentne spremenljivke ind60 je statistično značilna.
  + dem60dem60: Estimate = 3.9560, p < .001 – Varianca latentne spremenljivke dem60 (rezidualna varianca, saj je dem60 prediktorja) je statistično značilna.
  + dem65dem65: Estimate = 0.1725, p = 0.422 – Varianca latentne spremenljivke dem65 (rezidualna varianca) ni statistično značilna, kar pomeni, da je skoraj vsa varianca pojasnjena z njenimi prediktorji (ind60 in dem60).

| Intercepts | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | | | **95% Confidence Intervals** | | | |  | | | |
| **Variable** | | **Intercept** | | **SE** | | **Lower** | | **Upper** | | **z** | | **p** | |
| x1 |  | 5.054 |  | 0.084 |  | 4.890 |  | 5.219 |  | 60.127 |  | < .001 |  |
| x2 |  | 4.792 |  | 0.173 |  | 4.453 |  | 5.132 |  | 27.657 |  | < .001 |  |
| x3 |  | 3.558 |  | 0.161 |  | 3.242 |  | 3.874 |  | 22.066 |  | < .001 |  |
| y1 |  | 5.465 |  | 0.302 |  | 4.873 |  | 6.056 |  | 18.104 |  | < .001 |  |
| y2 |  | 4.256 |  | 0.450 |  | 3.375 |  | 5.138 |  | 9.461 |  | < .001 |  |
| y3 |  | 6.563 |  | 0.376 |  | 5.826 |  | 7.300 |  | 17.460 |  | < .001 |  |
| y4 |  | 4.453 |  | 0.384 |  | 3.700 |  | 5.205 |  | 11.598 |  | < .001 |  |
| y5 |  | 5.136 |  | 0.301 |  | 4.547 |  | 5.725 |  | 17.092 |  | < .001 |  |
| y6 |  | 2.978 |  | 0.386 |  | 2.222 |  | 3.734 |  | 7.717 |  | < .001 |  |
| y7 |  | 6.196 |  | 0.377 |  | 5.457 |  | 6.936 |  | 16.427 |  | < .001 |  |
| y8 |  | 4.043 |  | 0.371 |  | 3.316 |  | 4.771 |  | 10.889 |  | < .001 |  |
| ind60 |  | 0.000 |  | 0.000 |  | 0.000 |  | 0.000 |  |  |  |  |  |
| dem60 |  | 0.000 |  | 0.000 |  | 0.000 |  | 0.000 |  |  |  |  |  |
| dem65 |  | 0.000 |  | 0.000 |  | 0.000 |  | 0.000 |  |  |  |  |  |
|  | | | | | | | | | | | | | |

**Konstante (Intercepts)**

Konstante (intercepti) predstavljajo pričakovano vrednost spremenljivke, ko so vse druge prediktorske spremenljivke v modelu enake nič.

* **Opazovane spremenljivke (Observed Variables)**:
  + x1 do x3, y1 do y8: Intercepti za vse opazovane spremenljivke so statistično značilni (p < 0.001), kar pomeni, da so njihove povprečne vrednosti statistično značilno različne od nič.
* **Latentne spremenljivke (Latent Variables)**:
  + ind60, dem60, dem65: Intercepti za latentne spremenljivke so običajno fiksirani na 0.000 v jamoviju, razen če je model drugače specificiran.

**Path Model**

**Path diagrams**

A diagram of a network

AI-generated content may be incorrect.

## STROJNO UČENJE V KLASIFIKACIJI

Strojno učenje je veja umetne inteligence, ki se osredotoča na razvoj algoritmov in modelov, ki omogočajo računalnikom, da se učijo iz podatkov in sprejemajo odločitve brez eksplicitnega programiranja. Glavni cilj strojnega učenja je prepoznati vzorce in odnose v podatkih ter na podlagi teh informacij napovedati ali klasificirati nove primere.

### DELITEV PODATKOV

Prvi korak v strojnem učenju je razdelitev podatkov na učni nabor (za treniranje modela), validacijski nabor (za izbiro hiperparametrov), in testni nabor (za končno oceno modela). Običajno se podatke deli v razmerju 70/30 (to je privzeto v Jamovi modulu, ki ga bomo uporabili) ali 80/20, pri čemer je pomembno, da je delitev naključna in da ohranimo reprezentativnost podatkov.

### MATRIKA ZMEDENOSTI IN KRIVULJA ROC

Za oceno kakovosti klasifikacijskega modela pogosto uporabimo matriko zmedenosti, ki prikazuje število pravilno in napačno napovedanih primerov v posameznih kategorijah. Poleg tega je ROC-krivulja (Receiver Operating Characteristic) uporabno orodje za vrednotenje delovanja modela pri različnih mejnih vrednostih napovedi. Merilo pod krivuljo ROC (AUC) nam pove, kako dobro model loči med razredi.

### MODELI STROJNEGA UČENJA

Obstaja veliko različnih modelov, ki se uporabljajo v strojnem učenju, od preprostih do naprednih. Med najpogostejšimi so:

Regresijski modeli: Uporabljajo se za napovedovanje zveznih vrednosti.

Naivni Bayes: Model, ki temelji na verjetnostih in predpostavki neodvisnosti med spremenljivkami.

Podporni vektorski stroji (SVM): Metoda, ki maksimizira mejo med razredi.

Odločitvena drevesa in naključni gozdovi (Random Forest): Naključni gozd je ansambelska metoda, ki združuje več odločitvenih dreves za robustnejše in natančnejše napovedi.

Nevronske mreže: Modeli, ki posnemajo delovanje možganov in so še posebej primerni za kompleksne nelinearne vzorce.

### PRIMERJAVA MODELOV IN KRIŽNA VALIDACIJA

Za primerjavo različnih modelov se pogosto uporablja metoda križne validacije (cross-validation). Pri tem podatke razdelimo na K skupin (npr. K = 5 ali K = 10), model pa treniramo in testiramo na različnih delih podatkov. Za bolj robustne rezultate lahko postopek križne validacije večkrat ponovimo (npr. 3 ali 5 ponovitev).

Križna validacija omogoča oceno splošne napake modela in je ključnega pomena pri izbiri najboljšega modela za določeno nalogo.

### DODATNE POMEMBNE TOČKE

Obdelava podatkov: Pravilna priprava podatkov (normalizacija, kodiranje kategorij, odstranjevanje manjkajočih vrednosti) je ključnega pomena za uspešnost modelov.

Hiperparametri: Mnogi modeli zahtevajo nastavitev hiperparametrov (npr. število dreves pri Random Forest), kar pomembno vpliva na njihovo delovanje.

Interpretacija rezultatov: Poleg metrike točnosti (accuracy) je pomembno upoštevati tudi druge kazalnike, kot so preciznost, priklic in F1-mera, še posebej pri neuravnoteženih podatkih.

### Primer

V podatkovni zbirki … želimo napovedati spol učenca glede na raven Matematične motivacije in matematične anksioznosti. Ciljna spremenljivka (*Target*) je nominalna, napovedni (*Covariates*) pa obravnavamo zvezno.

Uporabili bomo modul snowCluster, kjer izberemo Machine learning, ki spada pod kategorijo Classification. Izberemo napovedne in ciljno spremenljivko, v zavihku »*Analysis*« pa določimo parametre, ki bodo diktirali strojno naučen model. »Split set« nam razdeli podatke na učne in testne in ga pustimo privzetega na 0.7. Training model pustimo privzel »pls«, lahko pa bi se tudi igrali z drugimi (zelo popularen v pedagoški znanosti je npr. »rf; random forest«). Zanima nas rezultat modela na »Test set«, zato tam vse odkljukamo, »Training set« pa pustimo prazen. Kategorija Plots nam omogoča osnovno statistiko že v sami knjižnici, da pred tem ne rabimo posebej izvajati deskriptivne statistike. V zavihku »Compare models« lahko naštejemo modele s katerimi bi radi našega izbranega primerjali in s kakšnimi kriteriji bi ta primerjava potekala (ponavadi izberemo »Accuracy«).

A screenshot of a computer

Description automatically generatedA screenshot of a computer

AI-generated content may be incorrect.

V rezultatih nam Jamovi javi najprej osnovne informacije o modelu: Koliko je bila velikost vzorca, koliko napovednih spremenljivk, in koliko napovedanih razredov. V našem primeru imamo vzorec velik 63, napovedujemo pa razreda »Moski« in »Zenska«. Najbolj nas zanima natančnost modela, kar izraža »Accuracy«, ki smo ga dobili 0.7, kar pomeni, da lahko z natančnostjo 70% napovemo spol na podlagi anksioznosti in motivacije. Kappa 0.2 nam pa pove, da model vseeno ni najboljši. V praksi so modeli s Kappo več od 0.4 ustrezni. V tem primeru imamo še poseben podatek »ncomp was held constant as a value 1«, kar pomeni, da ena od spremenljivk ni bila uporabljena (morda zaradi nerelevantnosti ali redundantnosti). V »Variable importance plot« vidimo, da je bila za napoved ključna le Anksioznost.

| Overall statistics with test set | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **Accuracy 95% CI** | | | |  | |
| **Accuracy** | | **Lower** | | **Upper** | | **Kappa** | |
| 0.692 |  | 0.482 |  | 0.857 |  | 0.224 |  |
|  | | | | | | | |
| | Confusion matrix with test set | | | | | | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | | **Predicted** | | | | |  | | **Moski** | | **Zenska** | | | Moski |  | 3 |  | 3 |  | | Zenska |  | 5 |  | 15 |  | |  | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | |

### Vaje

VAJA 1

V isti podatkovni zbirki napovej Spol, tokrat na podlagi MBTI spremenljivk (Introvertiranost, Sensing, Feeling, Judging). Je model pls bolj ali manj natančen? Koliko komponent je model izbral za optimalno? Če je katero izpustil, katero in zakaj? V razdelku compare models preglej tudi, če bi bil kakšen drug model bolj optimalen.

## STROJNO UČENJE NAPOVEDOVANJE ZVEZNE

V Jamovi ne najdem ustreznega modula, a se bi mi zdelo super, da povemo alernativo regresije (napovedi zvezne) z naprednejšo metodo, npr. RF sprejme za vhod tudi nominalne spremenljivke.

## ČASOVNE VRSTE

Podobno kot zgoraj. Je sicer v Snow modulu, a je nerodna knjiznica brez programiranja.

## TEMPLATE

V nadaljevanju želimo preveriti, ali se povprečji spremenljivk »Q21c« –- »Oblikovanje idej« in »Q21d« –- »Preizkušanje idej« statistično značilno razlikujeta. . V kolikor gre za dve spremenljivki znotraj istega vzorca učiteljic in učiteljev, je primerno uporabljati t-preizkus za odvisne vzorce. V meniju »Analize« izberemo podmeni »tT-tTesti« in možnost »tT-tTest odvisnih vzorcev«. V okno »Parjene spremenljivke« vstavimo dve spremenljivki, ki ju želimo primerjati (vrstni red pri tem ni pomemben). Ti dve se bosta izpisali ena zraven druge (Slslika 48). Jamovi avtomatično izbere ukaz »tT-test« ( ).

Slika 48: Pogled na t-preizkus odvisnih vzorcev.

4.3.4.1.1 PREVERJANJE POGOJEV

Preden pregledamo izpisane rezultate, preverimo pogoj normalnosti porazdelitve razlik med vrednostmi spremenljivk. Izberemo torej ukaz »Test normalnosti« ( ). Izpišejo se sledeči rezultati:

Ponazoritev 88: Tests of Normality

statistic p

Q21c Q21d Shapiro-Wilk 0.639 < .001

Kolmogorov-Smirnov 0.426 < .001

Anderson-Darling 155 < .001

Opomba. Additional results provided by moretests

Iz preglednice je razvidno, da so vsi preizkusi normalnosti statistično značilni (p < 0,001), kar kaže na to, da razlike niso normalno porazdeljene in je uporaba t-preizkusa za odvisne vzorce neupravičena. Z namenom prikaza preizkusa pa bomo vseeno nadaljevali z izvedbo t-preizkusa za odvisne vzorce.

Jamovi ne predvideva možnosti preizkušanja enakosti varianc za t-preizkuse za odvisne vzorce.

4.3.4.1.2 REZULTATI PREIZKUSA

Potem, ko se prepričamo, da je uporaba t-preizkusa za odvisne vzorce upravičena, si oglejmo izpis rezultatov:

Ponazoritev 89: T-tTest odvisnih vzorcev

statistika df p

Q21c Q21d tT-tTest 6.27 810 < .001

Izpis simbolov:

Statistika ali t označuje vrednost t-preizkusa odvisnih vzorcev.

df označuje prostostne stopnje t-preizkusa.

p označuje stopnjo statistične pomembnosti t-preizkusa odvisnih vzorcev.

Iz preglednice razumemo, da so razlike med povprečjema spremenljivke »Q21c« in »Q21d« statistično značilne (p < 0,001). Da preverimo, katera spremenljivka ima višje povprečje, si oglejmo opisno statistiko. Izberemo ukaz »Opisne statistike« ( ), in, če želimo tudi grafično predstavitev podatkov, izberemo tudi ukaz »Opisni izrisi« ( ). Dobimo sledeči izpis rezultatov in na Sl(sslikai 49) :

Ponazoritev 90: Opisne statistike

N Povprečna vrednost Mediana SD SN

Q21c 811 4.14 4 0.717 0.0252

Q21d 811 4.03 4 0.749 0.0263

Slika 49: Grafična ponazoritev razlik v povprečju med spremenljivkama »Q21c« in »Q21d«.

Iz preglednice lahko razumemo, da je povprečna vrednost spremenljivke »Q21c« (M = 4,14; SD = 0,717) statistično višja od povprečja spremenljivke »Q21d« (M = 4,03; SD = 0,749).

4.3.4.1.3 VELIKOST UČINKA

Iz zgornje preglednice je vidno, da so učiteljice in učitelji višje ocenili svoje sposobnosti oblikovanja idej ocenili višje od preizkušanja idej. Čeprav je t-preizkus pokazal statistično značilne razlike v povprečjih (t(810) = 6,27; p < 0,001), želimo ugotoviti, ali je razlika med njima, ki jo lahko izračunamo z izbiro ukaza »Povprečna razlika« ( ), velika, zato si oglejmo mero velikosti učinka. To izberemo z ukazom »Velikost učinka« ( ). Izpis je torej sledeči:

Ponazoritev 91: T-tTest odvisnih vzorcev

statistika df p Povprečna razlika Razlika SN Velikost učinka

Q21c Q21d tT-tTest 6.27 810 < .001 0.110 0.0175 Cohenov d 0.220

🕮 Primer razlage

Rezultat t-preizkusa za odvisne vzorce (t = 6,27; g = 810; 2P < 0,001) kaže, da obstajajo statistično pomembne razlike v odgovorih na vprašanje trditvipostavki o oblikovanju idej in preizkušanju idej obstajajo statistično pomembne razlike. Analiza rezultatov kaže, da učiteljice in učitelji v povprečju večji pomen pripisujejo vplivu oblikovanja idej (M = 4,14; SD = 0,717) kot preizkušanju idej (M = 4,03; SD = 0,749). Mera velikosti vpliva (Cohenov d = 0,220) kaže na majhen vpliv med spremenljivkama.

4.3.4.2 VAJE

VAJA 1

● T-preizkus za odvisne vzorce.

● Preizkusili smo, ali obstajajo statistično značilne razlike v povprečju odgovorov na vprašanji postavki »Q23c« - – »Samostojno delovanje za doseganje ciljev« in »Q23d« –- »Načrtovanje kratko-, srednje- in dolgoročnih ciljev« obstajajo statistično značilne razlike.

● Predstavimo dobljene rezultate.

● Napišite obrazložitev.

Ponazoritev 92: T-tTest odvisnih vzorcev

statistika df p Velikost učinka

Q23c Q23d tT-tTest 15.8 802 < .001 Cohenov d 0.557

Ponazoritev 93: Opisne statistike

N Povprečna vrednost Mediana SD SN

Q23c 803 4.19 4 0.756 0.0267

Q23d 803 3.76 4 0.823 0.0290

Obrazložitev:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_