



**E-health fejlesztéseket megalapozó kardiológiai, diagnosztikai, genetikai kutatások
ösztönzése a Pécsi Tudományegyetemen**

TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0009

**A tevékenység vezetője: Dr. Törőcsik Mária PTE KTK Marketing és Turizmus
Intézet**

intézetigazgató, egyetemi tanár

A hálózat kutatás módszertani vizsgálati lehetőségei – szakirodalmi összefoglalás

Irodalomkutatás eredményei

Készítette: Galambosné Dr. Tiszberger Mónika
PTE KTK egyetemi adjunktus

Kiadó: Pécsi Tudományegyetem

ISBN 978-963-642-988-1

Pécs, 2015



PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
UNIVERSITY OF PÉCS

SZÉCHENYI 2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
2.	A hálózatkutatás kialakulásának története.....	2
3.	A hálózatkutatás módszertani alapjai	5
3.1.	Alapfogalmak	5
3.2.	A hálózatok jellemzői.....	6
3.3.	Gráfok és mátrixok.....	8
3.4.	A kapcsolati adatok gyűjtése.....	11
3.5.	Főbb mutatók.....	12
	CENTRALITÁS	14
	PRESZTÍZS.....	15
	STRUKTURÁLIS EKVIVALENCIA ÉS BLOKKMODELLEK	15
4.	A hálózatkutatás átfogó fogalmi rendszere	19
	KISVILÁG.....	20
	SKÁLAFÜGGETLENSÉG	20
	EGYMÁSBAÁGYAZOTTSÁG.....	22
	GYENGEKAPCSOLTSÁG	22
	STABILITÁS.....	23
	KONTROLLÁLHATÓSÁG.....	23
5.	Hálózatkutatás az orvostudományban	24
	JÁRVÁNYOK.....	25
	ELHÍZÁS, DOHÁNYZÁS ÉS BOLDOGSÁG HÁLÓZATI JELLEMZŐI	25
	ŐSSEJTEK NYOMÁBAN	28
	VÉLEMÉNYVEZÉREK A KLINIKAI GYAKORLATBAN	28
6.	Összegzés.....	29
7.	Irodalomjegyzék	31

1. Bevezetés

„Lehetséges, hogy a cselekvéseinket irányító szabályok a maguk egyszerűségében felérnek a gravitáció newtoni törvényének prediktív erejével? Ne adj’ Isten, merészkedhetünk-e odáig, hogy megpróbáljuk megjósolni az emberi viselkedést? Korábban az efféle kérdésekre egyetlen válasz létezett: fogalmunk sincs! Ennek következtében ma többet tudunk a Jupiterről, mint a saját szomszédunkról. Valóban, előre tudjuk jelezni egy elektron pályáját, ki-be tudunk kapcsolni géneket, képesek vagyunk robotot küldeni a Marsra, ám tanácstalanul tárjuk szét a kezünket, ha olyan jelenségeket kell előre jeleznünk vagy megmagyaráznunk, amelyekről pedig a legtöbbet illene tudnunk, nevezetesen embertársaink cselekedeteit. Ennek egyszerű oka van. Mindaddig sem adataink, sem eszközeink nem voltak, hogy feltárjuk, valójában hogyan is működünk. A baktériumok nem idegeskednek, ha mikroszkóp alá tesszük őket. A Hold nem perel be, amiért űrhajóval leszállunk a felszínén. Ám egyikünk sem szívesen vetné alá magát olyan durva beavatkozásoknak, mint amilyenekkel a baktériumokat vagy a bolygókat vizsgáljuk – abból a célból, hogy *mindig mindent* tudjunk róluk.” (Barabási 2010 18-19. p.) Ez a – Barabási Albert-László Villanások című könyvéből vett – idézet jól illusztrálja az egész hálózatelemzés létjogosultságát, és mégis sajátos fejlődési dinamikáját.

A hálózatelemzés – nagyon leegyszerűsítve – alapvetően különböző entitások között fennálló kölcsönhatásokat, kapcsolatokat állapít meg, ezeket igyekszik modellezni, miközben kiszűri, kiküszöböli az egyéb zavaró hatásokat, körülményeket. A valóságban megfigyelhető rendkívül bonyolult és szertágazó jelenségeket csomópontokra és élekre egyszerűsíti azért, hogy úgy eddig nem ismert, rejtett összefüggések felfedezésére, megragadására adjon lehetőséget, esetleg bizonyos események előre jelezhetőségét javítsa, segítse. Mint minden modellezéssel összefüggő módszertan, a hálózatelemzés is kénytelen bizonyos egyszerűsítésekkel, kiinduló feltételekkel dolgozni, ami miatt sokszor nehezen védhetővé válhat a megragadott törvényszerűség. A hálózatelemzés kutatási és értelmezési modell is egyben (Buda 2011). Alapja a kombinatorika egyik önálló területe a gráfelmélet.

A társadalmi hálózatok elemzési eszköztárának a fejlesztését alapvetően az kényszerítette ki, hogy a közösségek hagyományos kutatásának módszertani és szemléleti háttérével nem lehetett átütő eredményeket elérni, az empirikus előrejelzések nem működtek megfelelően. A hálózatokkal kapcsolatos kutatások eredendően a szociológiai és fizikai alkalmazásokon keresztül alakultak és fejlődtek ki. Mára azonban már szinte minden tudományterületen található hálózatelemzéssel vizsgált vagy azzal értelmezni próbált jelenség. Az ökológiában a tápláléklánc topológiai jellegzetességei, a biokémiában a fehérje-fehérje hálózatok a nyelvészetben a szóasszociációs hálózatok, a szociológiában és szociálpszichológiában pedig az emberi kapcsolatok hálózata, a tudományometriában a citációs hálózatok, mérnöki tudományokban az elektromos hálózatok, az úthálózatok, társadalomtudományokban a szabadalmi együttműködési hálózatok struktúrájának, vagy a vélemények, beállítódások és a viselkedés társadalmi méretű változásainak elemzésére használják a hálózatelemzés adta lehetőségeket.

Elsősorban a szociológia területén vált népszerűvé a hálózati kapcsolatok és struktúrák elemzése. Innen ered a manapság elterjedt társadalmi kapcsolatháló elemzés (social network analysis – SNA) kifejezés is. Ez a tudományág viszonylag szűkebb matematikai apparátus felvonultatása mellett, elsősorban gyakorlati szempontból közelít a hálózatok, kapcsolatok elemzési problémáihoz. A hálózatelmélet és -elemzés, kiterjedt, sok szempontból a gráfelmélet eredményeire építő matematikai apparátussal rendelkezik, a hálózati struktúrák leíró elemzése során felhasznált mutatószámok erre viszonylag korlátozott mértékben támaszkodnak. A

matematikai apparátus főként a hálózatelméletre és a hálózati modellekre jellemző. (Sebestyén 2011)

A tanulmány először röviden áttekinti a hálózat kutatás történetének alakulását (2. fejezet). A 3. fejezetben a hálózat kutatás alapjai kerülnek bemutatásra a fontosabb hálózati alapfogalmakon, jellemzőkön és mutatókon keresztül a gráfok és mátrixok felhasználásának és az adatgyűjtés néhány jellegzetességének tárgyalása mellett. Ezután a 4. fejezetben a hálózat kutatás fogalmi rendszerének leggyakrabban használt elemeit vesszük sorra (kisvilág, skálafüggetlenség, egymásbaágyazottság, gyengekapcsoltság és stabilitás). Ezután az 5. fejezet a hálózat kutatás orvosi alkalmazási területeit foglalja össze röviden. A tanulmányt összegzés zárja.

2. A hálózat kutatás kialakulásának története

A hálózatokkal kapcsolatos kutatások alapvetően a szociológiai és fizikai alkalmazásokon keresztül alakultak és fejlődtek ki. Viszonylag nehéz átfogó képet adni a történeti alakulásról, mert a különböző területek egymás mellett fejlődtek, és sok tudományos eredmény eredendően nem feltétlenül a hálózat kutatás „címszava alatt” keletkezett, hanem más motivációk okán.

A legtöbb forrás azt mondja ki, hogy a hálózat kutatás gyökereit egyrésztől biztosan a gráfelméletben kell keresni. Az első gráfelméleti közleményt Leonhard Euler publikálta 1741-ben, a Königsbergi hidak problematikáján keresztül. A probléma története, hogy a poroszországi Königsberg (most Kalinyingrád, Oroszország) városban hét híd ívelt át a várost átszelő Prégel folyón úgy, hogy ezek a folyó két szigetét is érintették. A Königsbergiek azzal a kérdéssel fordultak Eulerhez, vajon végig lehet-e menni az összes hídon úgy, hogy mindegyiken csak egyszer haladjanak át, és egyúttal visszaérjenek a kiindulópontba. (Euler 1741) Euler észrevette, hogy a problémát az így létrehozott gráf csomópontjainak a fokszámára lehet visszavezetni. A csomópont fokszáma alatt az adott csomóponthoz csatlakozó élek számát értjük. A konkrét esetben a hidak elhelyezkedése alapján megalkotott gráfban három pontnak 3 a fokszáma, egynek pedig 5. Euler azt bizonyította be, hogy akkor és csak akkor létezik egy adott gráfban a hidakon pontosan egyszer végighaladó séta, ha minden csomópont fokszáma páros. A fenti feltételnek eleget tevő összefüggő gráfokat ma már zárt Euler-gráfnak nevezzük, az élek sorozatát, amelyeken a bejárás megvalósul, pedig Euler-vonalnak, illetve egy zárt Euler-vonalnak. A fenti feltételnek megfelelő bejárást zárt Euler-sétának hívjuk. Mivel a Königsbergi hidak grábjában több páratlan fokszámú csúcspont is található, ezért Euler eredményéből következik, hogy nem lehet bejárni a Königsbergi hidakat a fent megkövetelt módon. Az alapfelismerés, hogy a probléma megoldásának a kulcsa a hidak, illetve pontosabban az egy partszakaszhoz kapcsolódó hidak számában, nem pedig ezek konkrét elhelyezkedésében keresendő, a topológiai szemlélet legkorábbi megjelenésének is tekinthető.

A klasszikus gráfelmélet kialakulását számos magyar kutató segítette, a teljesség igénye nélkül említhető König Dénes, Egerváry Jenő, Erdős Pál, Turán Pál, Gallai Tibor, Rényi Alfréd, Lovász László és Szemerédi Endre.

Az Erdős–Rényi modell a gráfelméletben két rokon, véletlen gráfok előállítására szolgáló modell neve. Az egyik változatában az egy elemből kiinduló kapcsolat egyenlő valószínűséggel választ az összes adott élszámú gráf közül, a másikonál minden él egymástól függetlenül egy adott valószínűséggel van behúzva. Ők alkották meg a véletlen vagy random hálózatok alapját. Ezek ugyan nem felelnek meg a valóságban megfigyelhető hálózatoknak, de nagyon fontos

kiindulópontot adtak, és a mai napig a véletlen hálózatokhoz képest kimutatható eltérések adják a hálózati kutatások eredményét.

Ebben a tanulmányban a szociológia területén felhasználható módszerek összefoglaló bemutatására fókuszálunk, ezért a történetiségben is inkább erre a tudományterületre térünk ki.

A társadalmi kapcsolatháló-elemzés körülbelül a múlt század első felére, az 1930-as évekre tehető. A hálózatelemzők számára a kezdeti időszakban a kapcsolati hálók egyszerű grafikus ábrázolása elegendőnek mutatkozott a zömmel kisebb méretű közösségekben végzett esettanulmányos terepmunkák állításainak illusztrálására. Ezek a többnyire a technikák alkalmasak voltak egy-egy társadalmi hálózat feltérképezésére, egy adott társadalmi csoport strukturális jellegzetességeinek leírására. A Moreno által kifejlesztett szociogram hasonlóan elégségesnek bizonyult a kisléptékű társadalmi alakzatok feltérképezésére. A hatvanas években már az empirikus terepmunkák és a módszertani segédeszközök finomítását segítő tanulmányok voltak inkább jellemzőek. A tudományterület módszertani hátterének fejlődéséhez nagyban hozzájárult a modern matematika (gráfelmélet, relációk logikája) fejlődése, továbbá a számítógépes adatfeldolgozás lehetőségeinek kiszélesedése. Az informatikai potenciál folyamatos és rendkívül gyors ütemű bővülése azért is volt fontos, mert a kutatások kiterjesztésével, a csoportlétszám növekedésével párhuzamosan exponenciálisan emelkedik a lehetséges kapcsolatok száma. Vagyis az adatok feldolgozhatósága szempontjából egyre fontosabb feltétellé vált a számítástechnikai kapacitás. A hetvenes évek fordulatot hoztak a társadalmi hálózatok kutatásának extenzív növekedését megalapozó fontos módszertani innovációk bevezetésével. Az évtized végére a különböző területeken kutatók kooperációinak eredményeképpen az egyes területek és diszciplínák közeledése, a módszerek letisztulása, a kutatói közösségek fokozatos egymáshoz csiszolódása, azok közös tudatának erősödése figyelhető meg.

Módszertani szempontból három mérföldkőnek számító eredményt érdemes kiemelni.

Az első a szociometria néven ismertté vált szociálpszichológiai elemzések. A szociometria akár a hálózatelemzés különböző szempontok szerint történő általánosításaként is felfogható. A szociometriai vizsgálatok célját a különböző társadalmi kiscsoportokban (például iskolai osztályokban, sportolói csapatokban) előforduló preferált interperszonális kapcsolatok kvantitatív feltárásában, és az ily módon kirajzolódó társas alakzatok módszeres leírásában jelölhetjük meg. Míg a Moreno nevével fémjelzett hagyományos szociometriai vizsgálatok kizárólag rokonszenvi-ellenszenvi választásokat vesznek figyelembe, addig a Moreno szemléletét és módszerét ért bírálatok nyomán kialakult újabb keletű, többszempontú szociometriai tesztekben emellett közösségi funkciókra, a funkciókhoz kötött kapcsolatokra, egyéni tulajdonságokra vagy népszerűsége stb. vonatkozó kérdések is szerepelnek. A szociometria által a közösségek rejtett hálózatainak feltérképezésére kidolgozott mutatókban a hálózatelemzésben elterjedt jó néhány mutató és index "őstípusát" fedezhetjük fel.

A második fontos módszertani előzmény a triád-kapcsolatok szociálpszichológiai elemzésének fejlődése. E kapcsolatok vizsgálatának elméletlettörténeti gyökerei egészen Georg Simmel munkásságáig nyúlnak vissza. Simmel társadalomtudományi programja a szociológia alapvető feladatát "a társadalom geometriájának" megalkotásában, a társadalmi kapcsolatok módszeres leírásában jelölte meg. Felfogása szerint a szociológiának nincs szüksége arra, hogy a közgazdaságtan, a pszichológia, az etika vagy a történelem tárgyát vagy módszereit kölcsönvegye. Ennél szerinte helyesebb, ha a szociológus azoknak a kölcsönhatásoknak a formáira helyezi a hangsúlyt, amelyek a gazdasági, politikai, vallási viselkedést befolyásolják. Ezek szerint tehát a szociológiai vizsgálatok megfelelő tárgyát nem az eseti jelenségek, hanem a konfliktusok és az együttműködés folyamatai, kölcsönhatásai, az alá- és fölérendeltség, a centralizmus és decentralizmus viszonyai alkotják. Az, hogy Simmel elsősorban a társadalmi

élet formáinak vizsgálatára törekedett, azt eredményezte, hogy a szociológia általa kívánatosnak tartott programját mind a mai napig formális szociológiaiaként emlegetjük. Éppen egy effajta vizsgálati szemléletmód tükröződik a triád-kapcsolatok elemzésében is. Simmel a triádot az elszigetelt egyénnel és a diád-kapcsolattal szembesítve mutatta be. A legegyszerűbb társas alakzat két szereplő között jöhet létre. A harmadik szereplő szociológiai jelentősége egyes esetekben az eredeti két fél viszonyának megerősítésében, máskor viszont annak szétzilálásában állhat. A harmadik fél számos módon kapcsolódhat két személy (vagy csoport) már létező relációjához: konfliktusuk esetén például döntőbíróként léphet fel, vagy éppen ellensúlyozhatja a másik két szereplő egymásnak ellentmondó követeléseit. Sőt, bizonyos esetekben, akár hasznot is húzhat a másik kettő közötti torzsalkodásból. Ekkor a harmadik fél a "nevető harmadik" helyzetében van, ami - durván - azt jelenti, hogy két fél (egyén, csoport, párt stb.) között létező vagy kialakuló 1 egy harmadiknak valamiféle előnye származik.

Simmel fejtegetései a későbbiek során ösztönzőleg hatottak a kiscsoportok jelenségvilágát analizáló egyes szociálpszichológiai kutatásokra: az ún. kognitív egyensúly elméletére, ami a harmadik fontos mérőszám. A kognitív ("strukturális") egyensúly elmélete iránt a társadalomtudósok körében tapasztalható érdeklődést elsősorban Fritz Heider kognitív struktúrákról írt munkája keltette fel. A gráfelmélet effajta kutatásokban történő felhasználásának lehetőségére elsőként Dorwin Cartwright és Frank Harary mutatott rá. Ők egyfelől formalizálták a Heider által kialakított fogalmakat és összefüggéseket, másfelől megadták az egyensúlyi állapotok alapvető jellemzőit. A Heider által eredetileg vizsgált kognitív struktúrák három szereplőből, valamint az őket egymáshoz fűző érzelmi relációkból (rokonszenv, ellenszenv) álltak. Heider a következő szociálpszichológiai hipotézist alkotta meg: két személy egymás iránti érzelmeit befolyásolja egy harmadik személy (vagy tárgy) iránti érzelmük. Például, két olyan személy, akik ugyanazon harmadik személy (vagy tárgy) iránt éreznek rokonszenvet, hajlani fognak arra, hogy egymást is kedveljék: két olyan személy, akik ugyanazon harmadik személy (vagy tárgy) iránt éreznek ellenszenvet, szintén hajlani fognak arra, hogy rokonszenvezenek egymással. Abban az esetben viszont, ha két személyt ellentétes érzelmek fűznek egy harmadik személyhez (vagy tárgyhöz), akkor kicsi a valószínűsége annak, hogy egymás iránt rokonszenvet érezzenek. (Szántó-Tóth, 1993)

A hálózatok kutatás interdiszciplináris jellegét a kialakulásának vonulata mellett a napjainkban jellemző széles körű felhasználási spektrum is alátámasztja. Az ökológiában a tápláléklánc topológiai jellegzetességei, a biokémiában a fehérje-fehérje hálózatok a nyelvészetben a szóasszociációs hálózatok, a szociológiában és szociálpszichológiába pedig az emberi kapcsolatok hálózata, a tudományometriában a citációs hálózatok, mérnöki tudományokban az elektromos hálózatok, az úthálózatok, társadalomtudományokban a szabadalmi együttműködési hálózatok struktúrájának, vagy a vélemények, beállítódások és a viselkedés társadalmi méretű változásainak elemzésére használják a hálózatelemzés adta lehetőségeket.

A nemzetközileg is elismert magyar hálózatkutató (és fizikus) Barabási Albert-László munkássága jelentős hozzájárulást nyújtott a tudományterület fejlődéséhez. Ő és kutatócsoportja a web "átmérőjét" is meghatározta, e szerint átlagosan 19 kattintásra vagyunk a jelenleg fellelhető bármely internetes oldaltól. Kutatásai a hálózatokról a kommunikációelmélet egyik kedvelt tézisének, a világfalu-elméletnek, illetve a hatlépcsényi távolság törvényének is megerősítik.

3. A hálózatkutatás módszertani alapjai

A tanulmány 3. fejezetében a hálózatkutatás módszertani alapjait alapvetően három forrásra támaszkodva fogjuk bemutatni: Kürtösi (2005), Takács (2011) és Wasserman-Faust (1994). A forrásmegjelöléseket az egybefonódások miatt a szövegben nem fogjuk ismételni.

3.1. Alapfogalmak

A hálózatelemzés fogalmainak és módszereinek megértéséhez mindenképp meg kell különböztetnünk a tudományos megismerésben használt fogalmak két alapvető típusát. A tudományos megfigyelés tárgyai lehetnek egyének, tárgyak, események, szervezetek. És ezek mindegyike rendelkezhet abszolút (vagy kategorikus) és relációs jellemzőkkel.

Az abszolút ismérvek a megfigyelési egységek "lényegi belső jegyeihez" kapcsolódnak. Ezt úgy fogalmazzuk meg, hogy az adott megfigyelési egységek rendelkeznek vagy nem rendelkeznek ezzel vagy azzal a tulajdonsággal. Az empirikus szociológiai irodalom számottevő része (pl. a leíró rétegződéskutatások) foglalkozik azzal, hogy megfelelően kiválasztott abszolút jellemzők (csoportosítási dimenziók) különböző mérési szintű skálán értelmezhető értékeinek segítségével osztályokba sorolja, csoportosítsa a vizsgált társadalom tagjait. (Ennek elvégzésére olyan többváltozós statisztikai módszerek is alkalmasak, mint például K-közepű vagy többlépcsős klaszteranalízis.) Ezzel szemben a relációs fogalmakat használó szociológiai megközelítések vizsgálati tárgyát nem az egyes elemek külön-külön vizsgált jellemzői, hanem az egyes elemeket más elemekhez fűző kapcsolataik jelentik. A relációs-fogalmak használatához, illetve a relációs ismérvekre alapozott elemzésekhez tehát két vagy több elem (individuum, vagy eset) szükséges. Relációs ismérveket vizsgálva úgy fogalmazhatunk, hogy a vizsgált elemek ilyen és ilyen kapcsolatban állnak egymással. Ezek a kapcsolatok a legkülönbözőbb tartalmakat hordozhatják, logikailag különböző csoportokba sorolhatók, segítségükkel az individuumoknak az abszolút ismérveket felhasználó elemzések számára hozzáférhetetlen sajátosságai is vizsgálhatókká válnak. Attól függően, hogy az adott viszony hány elemet köt össze, beszélhetünk két-, három-, vagy N-argumentumú relációkról. A hálózatelemzés művelői éppen az ilyen kapcsolatok leírásával, magyarázatával, értelmezésével és más változókra gyakorolt hatásával foglalkoznak.

Az individuális szinten értelmezett abszolút és relációs ismérvek egyaránt alkalmasak arra, hogy az egyes individuumok által alkotott csoportok jellemzőire következtessünk belőlük. Az így megfogalmazott új ismérvek közvetlenül a magasabb szintű elemzési egység jellemzését szolgálják.

Az egyes elemeket jellemző abszolút ismérvekből valamilyen matematikai statisztikai transzformáció eredményeként kapott, a magasabb elemzési szinten értelmezett ismérveket analitikus ismérveknek nevezzük. Ilyen, a magasabb szint elemzési egységekre vonatkozó analitikus jellemző például a vizsgálat tárgyát képező abszolút ismérvek (pl. a csoporttagok jövedelmének, a sportolók teljesítményének, a régiók szabadalmi eredményeinek) a csoport egészére számított átlaga, szórása, eloszlása, a legmagasabb és a legalacsonyabb értékek aránya stb., vagyis alapvetően a leíró statisztikai mutatói.

Az individuális szinten értelmezett relációs jellemzőkből is alkothatnak a csoport egészét jellemző mutatókat. Ilyen, csoportszinten értelmezett strukturális ismérvek lehet például egy adott népességben a kapcsolatok centralitása, sűrűsége, kiterjedtsége stb., amelyekről később részletesebben is lesz szó. A strukturális ismérvek segítségével a vizsgált társadalmi csoport

szerkezetének olyan sajátosságai is elemezhetőkké válnak, amelyeket az analitikus ismervek révén nem ragadhatunk meg. Amikor "individuális" elemzési szintről beszélünk, akkor nem feltétlenül gondolunk mindig egyénekre, azaz individuumokra. Az elemzés alapegységei lehetnek valamilyen szint társadalmi kollektívái, ún. korporatív aktorok (pl. csoportok, vállalatok, szervezetek, vagy akár országok) is. Az individuális szint itt mindig azt jelenti, hogy a szóban forgó egységeket az adott elemzésben nem bontjuk további alkotóelemeikre, hanem mint egészeket kezeljük őket, és rájuk, mint egészekre vonatkoztatjuk az abszolút, vagy éppen a relációs ismerveket.

3.2. A hálózatok jellemzői

A hálózati struktúra modelljeinek áttekintése során a hálózatok alkotórészeinek két alapvető típusát kell megkülönböztetni. Az egyik típusba a hálózatok alanyai, vagy másképpen elemei tartoznak. Ezek, az előzőekben részletesebben bemutatott alanyok lehetnek egyének, csoportok, szervezetek, de akár országok, államok, sőt régiók is. A másik típust az elemek közötti viszonyok (relációk, kötődések, kapcsolatok) adják.

A társadalmi hálózatok grafikus ábrázolásában az egyes cselekvőket pontok, a közöttük levő viszonyokat pedig a pontokat összekötő vonalak reprezentálják. A pontok és a viszonyok által meghatározott hálózatok a szó matematikai értelmében egy gráfot határoznak meg. Ennek tulajdonságait elemezhetjük a gráfelmélet fogalmainak és összefüggéseinek segítségével.

A véges számú pontot teljesen vagy részben összekötő vonalak halmazát nevezzük hálónak. A viszonyok egy bizonyos típusa által meghatározott pontok halmazát nevezzük a továbbiakban hálózatnak. Ha a vizsgált pontok legalább egy részhalmazát többféle viszony szerint rendezzük, akkor a továbbiakban többretegű hálózatokról (multiplex networks) fogunk beszélni.

A geometriai ábrázolásra természetes módon csak akkor nyílik lehetőség, ha a hálózat megfelelően kevés számú elemből áll. Kiterjedtebb, sokelemű, bonyolultabb hálózatok megjelenítéséhez jobban megfelel a mátrixos forma. A mátrix-reprezentáció mellett szóló legfontosabb további érv, hogy ez a forma teszi lehetővé a nagy kiterjedésű hálózatokról nyert adathalmaz informatikai feldolgozását. Ennek során a különböző mátrix-algebrai műveletek (pl. a mátrixok hatványozása, invertálása stb.) segítségével a hálózatok sokrétű elemzésére nyílik lehetőség. A hálózati kapcsolatokat leíró mátrix alapvetően kétféle lehet. A gráfelmélet az ún. incidenciamátrixot részesíti előnyben, ami a hálózat csomópontjai és élei közötti leképezést definiálja. Ezzel szemben a társadalmi kapcsolatháló elemzésében az ún. kapcsolati (vagy más néven szocio-) mátrix használata terjedt el, amelyben a sorokat és oszlopokat a csomópontok adják, elemei pedig a csomópontpárok közötti kapcsolatok létezésére, adott esetben súlyára és/vagy irányára utalnak.

A hálózatelemzés főbb fogalmainak bemutatása során egyfelől különbséget fogunk tenni a társadalmi hálózatok interakcionális és morfológiai jellemzői között, másfelől továbbra is igyekszünk külön tárgyalni az individuális és a csoportszinthez tartozó ismerveket. Az interakcionális jellemzők maguknak a kapcsolódásoknak a természetére, míg a morfológiai jellemzők a hálózaton belüli kapcsolódások egymás közötti viszonyára, a kapcsolódások alakzatára vonatkoznak. Ez utóbbit egy külön fejezet részben fogjuk tárgyalni a gráfok és mátrixok, mint elemzési eszközök bemutatásán keresztül.

INTERAKCIONÁLIS JELLEMZŐK

A viszonyok tartalma alatt a hálózatok kötő erejének "lényegi" sajátosságait kell értenünk. Eszerint beszélhetünk például csereviszonyokról, hatalmi relációkról, kommunikációs láncokról és a konkrét kutatási kérdésektől függően még számtalan, egyéb tartalommal bíró hálózatról. Mivel ezek a tartalmi sajátosságok közvetlenül nem megfigyelhetők, adott esetben a vizsgálat megtervezésekor a kutatónak kell eldöntenie, hogy milyen tartalmú kötésekét kíván elsősorban figyelembe venni. A vizsgálandó kérdések természetesen többnyire árnyalt válaszokat igényelnek, ezért sokszor előfordul, hogy a kutatónak a társadalmi hálózatok feltérképezése során nem csak egyféle tartalommal kell foglalkoznia. Ha két hálózati pont között pusztán egyféle tartalmú kapcsolat áll fenn, akkor beszélünk egyrétegű (uniplex) viszonyokról. Ha ugyanannak a két pontnak a viszonya több tartalommal is értelmezhető, akkor többretegű (multiplex) viszonyokkal állunk szemben.

Így két alany viszonya korlátozódhat egyszerűen szomszédsági kapcsolatra, de előfordulhat az is, hogy a szomszédok egyben rokonok is, és a közöttük fennálló cserekapcsolatok (vagyis egy harmadik viszony) jellegét befolyásolja az előbbi viszonyok megléte. Az előbbi példa rávilágít arra is, hogy a viszonyok tartalma között különbséget kell tennünk az adott viszonyok által meghatározott hálózatba kerülés (az adott hálózat tagjainak rekrutációja) szempontjából is. Ez azért fontos, mert a rokonsági hálózatokba kerülésnek mások a rekrutációs elvei, mint a cserekapcsolatoknak.

A kapcsolatok különbözhetnek egymástól a kapcsolatok irányítottsága szerint. Ebből a szempontból a hálózati kapcsolatok lehetnek irányítás nélküliek vagy irányítottak, ez utóbbiak pedig szimmetrikus vagy aszimmetrikus irányultságúak. A rokonszenvi-ellenszenvi választások esetén könnyen előfordulhat, hogy az egyik egyén választja a másikat, anélkül, hogy választása viszonzásra találna.

Beszélhetünk bináris vagy súlyozott hálózatokról is attól függően, hogy csupán a csomópontok közötti kapcsolatok létezésére összpontosítunk (bináris hálózat) vagy pedig a kapcsolatok intenzitása, súlya is lényeges szempont (súlyozott hálózat). Bináris hálózat esetén a kapcsolati mátrix elemei kétértékűek: nullák, ha két csomópont között nem létezik kapcsolat, és egyesek az ellenkező esetben. Súlyozott hálózat esetén a mátrix elemei tetszőleges valós értéket vehetnek fel.

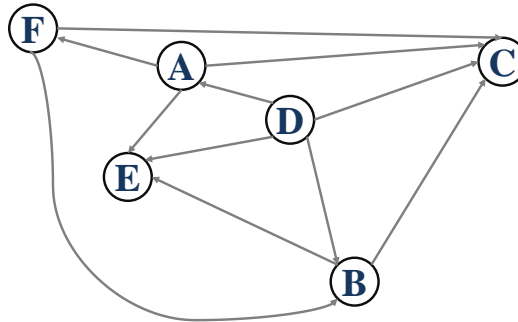
Egy kapcsolat intenzitása kétféleképpen is értelmezhető. Az intenzitáson egyrészt a kapcsolat multiplicitásának fokát, másrészt az egyes alanyok közötti kapcsolatok erejét szokták érteni. Minél több szál köt össze két alanyt, annál valószínűbb, hogy erősebb a közöttük levő kötődés. Hasonlóképpen valószínűsíthető, hogy minél "erősebb" a két alany között meglévő érzelmi elkötelezettség, annál inkább fogja az egyikük viselkedését befolyásolni a másikkal fennálló kapcsolat. Ez utóbbi sajátosság egyben arra is utal, hogy az interakciók gyakorisága önmagában nem feltétlenül jelzi a kapcsolatok erejét.

A hálózatoknak ugyancsak fontos eleme a kapcsolatok időtartama, pontosabban a kapcsolatok időzíthetősége. A társadalmi hálózatokban fennálló kapcsolatoknak csak egy része tekinthető olyannak, ami az alanyok közötti mindennapi érintkezésben is szerepet játszik. A kapcsolatok egy nem elhanyagolható része azonban csak bizonyos krízishelyzetek esetén aktivizálódik. Az efféle akció-halmazok (potenciális, szükség esetén mobilizálható kapcsolatok) léte egyébként külön problémákat okozhat a hálózatelemzők számára, ha nem ügyelnek eléggé az efféle látens kötődések feltérképezésére.

3.3. Gráfok és mátrixok

A morfológiai jellemzők és fogalmak, valamint a hozzájuk kapcsolódó mutatók és módszerek illusztrálásához egy egyszerű, sematikus példát fogunk felhasználni, amelyet a következő (1.) ábra mutat be.

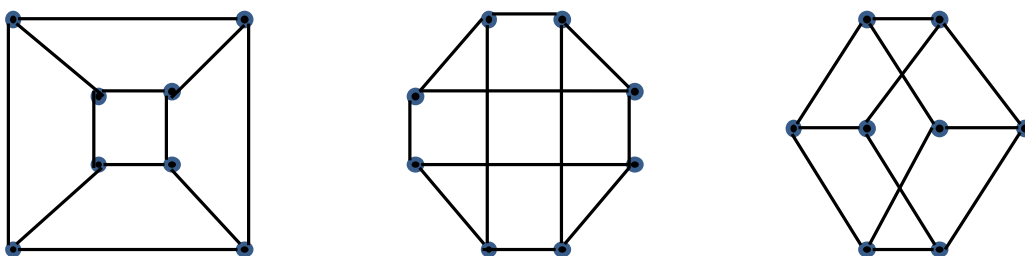
1. ábra: Egy egyszerű szociogram



A hálózat csúcspontjait (csúcsait, alanyait vagy elemeit) alkotó szervezeteket az ábrán nagy betűkkel (A, B, ... F) jelöltük. Az egyes szervezetek közötti relációkat vonalak (gráfok) ábrázolják. Két pontot (cselekvőt) akkor tekintünk szomszédosnak, ha azokat legalább egy vonal (reláció) közvetlenül összeköti. A kétdimenziós ábrákon a relációs értelemben szomszédos pontok a szó fizikai értelmében természetesen meglehetősen távol is elhelyezkedhetnek egymástól. Sokszor nem csak a kapcsolatok megléte, hanem azok hiánya is fontos információt jelenthet a hálózatelemzők számára. A közvetlen kapcsolat hiánya esetén a szóban forgó pontokat nem tekinthetjük szomszédosnak, de ez nem jelenti azt, hogy közvetetten vagyis más elemeken keresztül - ne lehetnének kapcsolatok az adott pontok között.

A gráfelmélet több szempontból is hasznos a kapcsolatháló elemzésében. Egyrészt megvan a megfelelő szókészlete a kapcsolatháló-alakzatok leírására, másrészt biztosítja a matematikai alapokat a strukturális jellemzők mérhetőségéhez. A gráfok jól modellezik a valós kapcsolathálókat, és képesek vizualizálni olyan kapcsolati mintázatokat, melyek egyébként felfedezetlenek maradnának. A gráfok ábrázolásánál ugyanakkor nagyon fontos tudatosítani, hogy a pontok elhelyezkedése, valamint az ezeket összekötő élek hossza nem hordoz információt. Két izomorf gráf teljesen eltérően is ábrázolható, a pontok elhelyezkedése segítheti vagy ronthatja a gráf értelmezését. Erre látható példa a 2. ábrán.

2. ábra: Izomorf gráfok különböző ábrázolása



Az összes lehetséges kapcsolatot tartalmazó gráfot teljesnek nevezzük (példánkban ez 30 lenne). Egy adott cselekvő számára elérhető pontok halmazát a hálózat azon elemei jelentik,

amelyeket út köt össze a vizsgált cselekvővel. Egy gráfot akkor tekinthetünk összefüggőnek, ha bármely két pontja között létezik legalább egy út, vagyis nincs olyan pontja, ami ne lenne elérhető a gráf bármely más pontjából.

A hálózatok elemzésében általában nem csak az elemek közötti kapcsolatok pusztá léte, hanem a kapcsolatok iránya is fontos szerepet játszik. Azokat a gráfokat, amelyekben az elemek közötti kapcsolatok irányát is feltüntetik, irányított gráfoknak (directed graph, digraph) nevezzük. A fenti ábra egy ilyen speciális típusú gráf.

Egy tetszőleges irányított gráfban a hálózati pontok párhuzamosai között a gráfok három különböző típusa fordulhat elő: kölcsönös; aszimmetrikus és hiányzó.

Kölcsönös (szimmetrikus) kapcsolatok esetén a nyilak két irányba (mindkét szereplő felé) mutatnak. Egyirányú (aszimmetrikus) kapcsolatok esetén megkülönböztethetjük a küldő és a fogadó alanyt. A nyilak ilyenkor a küldő alany felől a fogadó felé mutatnak. Az irányított gráfokra vonatkozóan két szereplő alkotta párok (diádok) esetén az összefüggőség azt mutatja, hogy milyen különböző lehetőségek vannak két tetszőleges pont között a közvetlen kapcsolódásra:

- 0. fokon összefüggő pontok, amelyek között nem létezik semmiféle kapcsolat;
- 1. fokon összefüggő pontok, amelyeket irányítás nélküli gráf köt össze egymással;
- 2. fokon összefüggő pontok, amelyeket az egyik irányban irányított gráf köt össze egymással;
- 3. fokon összefüggő pontok, amelyeket mindkét irányban irányított gráf kapcsol egymáshoz.

A teljes gráf szintjén az összefüggőség fogalmának jelentése az alábbi módon körvonalazható. A gráf:

- A gráf erősen összefüggő, ha a pontjai alkotta valamennyi diád 3. fokon összefüggő.
- A gráf egyoldalúan összefüggő, ha a pontjai alkotta valamennyi diád 2. fokon összefüggő.
- A gráf gyengén összefüggő, ha a pontjai alkotta valamennyi diád 1. fokon összefüggő.
- A gráf nem-összefüggő (disconnected), ha van legalább egy olyan pontja, amelyet nem fűz semmiféle kapcsolat a gráf többi pontjához.

Ábránk egy gyengén összefüggő gráfot mutat.

3. ábra: A hidak és töréspontok a gráfban



A társadalmi hálózatokban gyakran fontos szerep jut a közbenső pontok egyik típusának. Ha egy összefüggő gráfban található olyan pont, amelynek elmozdítása olyan gráfot eredményez, ami már nem tekinthető összefüggőnek, akkor nagy valószínűséggel mondhatjuk, hogy a szóban forgó ponttal jelölt szereplő közvetítő szerepet tölt be a hálózat két részhalma között. Az ilyen pontot nevezzük töréspontnak (például a 3. ábra jobb oldalán a 4-es pont).

Hídnak viszont azt a kapcsolatot nevezzük, amelynek az elmozdítása megszünteti egy gráf összefüggő jellegét (például a 3. ábra bal oldalán 3-as és 4-es pontja közötti kapcsolat).

A hálózatok jellemzőinek másik (algebrai) szemléltetési módja a kapcsolatok mátrixban való megjelenítése.

4. ábra: A 2. ábra szociomátrixa

	A	B	C	D	E	F
A	0	0	1	0	1	1
B	0	0	1	0	1	0
C	0	0	0	0	0	0
D	1	1	0	0	1	0
E	0	0	0	0	0	0
F	0	1	1	0	0	0

A szociológiai vizsgálatok szempontjából legfontosabbnak tűnő hálózati adatok algebrai ábrázolására szolgáló mátrixok soraiban és oszlopaiban jellemzően ugyanazok a szereplők találhatóak, azonos sorrendben (lásd 4. ábra). A mátrix tetszőleges elemét reprezentáló (a_{ijk}) i és j alsó indexe a mátrix i -edik sorának j -edik oszlopában előforduló elemre utal. Az i és j értéke a vizsgált sokaság nagyságától (N) függően az 1-től N -ig terjedhet. A harmadik alsó index pedig a vizsgált hálózatot alkotó relációk természetére, azaz tartalmára (pl. kommunikáció, pénzügyi tranzakció, tekintély stb.) utal.

Irányított és kölcsönös (szimmetrikus) relációk ábrázolása során a mátrix i -edik sorának j -edik oszlopában és j -edik sorának i -edik oszlopában ugyanannak az értéknek (általában 1-nek) kell szerepelnie. Irányított és aszimmetrikus relációknál viszont, az irányítástól függően, az imént említett elemek közül csak az egyik veheti fel pl. az 1-es értéket, ami a kapcsolat létezését jelenti. A legegyszerűbb esetben a mátrix elemei - ahogy azt példánk is mutatja - két értéket vehetnek fel (0, ha nincsen kapcsolat, 1, ha van kapcsolat). Az ilyen bináris mátrixokat szomszédossági mátrixnak is nevezik. A mátrix elemeinek értékei, bonyolultabb esetekben, természetesen egész számok, vagy arányszámok is lehetnek. Az egész számok például egy reláció két szereplő közötti előfordulási gyakoriságát jelölhetik, míg az arányszám egy kapcsolat erősségét (intenzitását) fejezheti ki.

A kapcsolati adatok megjeleníthetők szociomátrixban vagy illeszkedési mátrixban. Az előbbire láthattunk példát a korábbiakban. A szociomátrix főátlójában lévő pontok csak akkor különböznek 0-tól, ha megengedjük a kapcsolatok reflexivitását, azaz a szereplők önmagukra való visszamutatását, így például a tanácsadási hálóknál esetén nem feltételezzük azt, hogy egy szerelő önmagától kér tanácsot. Vannak azonban olyan esetek, mikor a reflexivitás megengedhető. Például, ha egy szervezet vizsgálatánál az egyes osztályok közti kapcsolatok mellett az osztályokon belüli kapcsolatokat is vizsgáljuk. Az egymódú mátrix ún. kvadrátikus, azaz négyzetes mátrix, mivel sorainak és oszlopainak száma megegyezik.

Elképzelhetőek olyan szociomátrixok, melyek nem kvadrátikusak, például mikor a sorok az egyéneket, az oszlopok viszont azokat az eseményeket jelölik, melyeken a személyek részvételét vizsgáljuk, vagy éppen akkor, ha a sorok vállalatokat, az oszlopok pedig olyan nonprofit szervezeteket jelölnek, amelyeket a vállalatok bizonyos összegekkel támogatnak. Az

illeszkedési mátrixok ezzel szemben olyan táblázatok, ahol a sorok megfeleltethetők a szereplőknek (pontoknak), míg az oszlopok a köztük lévő kapcsolatoknak (éleknek). Ez a mátrix sem feltétlenül kvadrátikus, mivel a pontok és élek száma nem feltétlenül egyenlő. A mátrixban szereplő értékek azt jelzik, hogy az adott pont mely élekre illeszkedik. A mátrix bináris, elemei ott vesznek fel 1-et, ahol az adott pont érintkezik az adott éllel, és ott 0-át, ahol ez nem áll fenn. Mivel minden élt két pont zár le, a mátrix minden oszlopában csak két helyen állhat 1-es, sorában viszont akár mindegyik helyen, ha az adott pont központi és minden éllel érintkezik. Mindkét fajta mátrix tökéletesen le tudja képezni a gráfok által hordozott információkat.

A hálózatok mátrix-reprezentációjának számos előnye van a grafikus ábrázoláshoz képest. Ezek közé tartozik például a közvetett, indirekt kapcsolatok vizsgálatának lehetősége. Egy adott hálózatban előforduló indirekt kapcsolatok feltárására a hálózatot reprezentáló szomszédossági mátrix megfelelő hatványra emelése révén kerülhet sor.

Fontos tulajdonsága a mátrixoknak a permutálhatóság, azaz a sorok és oszlopok sorrendje anélkül változtatható, hogy a szociomátrix által hordozott információk változnának. Ez elsősorban azért fontos, mert a sorok és oszlopok újrendezésével olyan információk is láthatóvá válnak, amelyek egyébként nem. Elképzelhető például, hogy az 1 értékek a mátrix jobb felső és bal alsó sarkában csoportosulnak az újrendezés után, ami két elkülönülő algráfra utal. A mátrixpermutációkra épül többek közt a blokkmodell analízis módszertana is.

3.4. A kapcsolati adatok gyűjtése

Az adatgyűjtésre felhasználhatók a hagyományos módszerek, mint kérdőív, interjú, megfigyelés, kísérlet, de emellett léteznek más adatgyűjtési módok is. A kérdőív talán a leggyakrabban alkalmazott technika. Főként személyek, vagy személyek révén megtestesülő szervezetek közti kapcsolatok felmérésére alkalmas. Az interjú is használható módszer, főképp azokban az esetekben, mikor a kérdőív túl személytelen, és több információval kecsegtet a személyes kapcsolat fenntartása. Az interjú során is alkalmazhatók a kapcsolati távolságok felderítésére szolgáló technikák, pl. megkérjük a válaszadót, hogy jelölje be kapcsolatait egy olyan koncentrikus köröket ábrázoló céltáblán, amelynek ő áll a középpontjában.

A harmadik lehetséges adatgyűjtő módszer a megfigyelés. Ez különösen akkor használható jó hatásfokkal, ha kis közösségek személyes kontaktusait akarják vizsgálni, de akkor is megfelelő, ha az alanyok nem képesek verbális kommunikációra, illetve kérdőív kitöltésre, így például bölcsődei csoport esetén, vagy állatok kapcsolatainak feltérképezésénél. Ez az adatgyűjtési mód különösen jól használható olyan hálózatok leírásához is, mikor a szereplők közti kapcsolatot az eseményeken való részvétel jelenti.

A kapcsolatok felderítését különböző nyilvántartások, korábbi feljegyzések is segíthetik: naplók, újságok, levéltári anyagok, klubok tagsági listája, így például az elitvizsgálatokhoz felhasználhatók újságok társasági, vagy gazdasági egyesületekről, igazgatótagsági változásokról szóló hírei.

Kevésbé használt adatgyűjtési mód a kísérlet, ahol a szereplők közti kapcsolatokat kísérleti környezetben vizsgálják, a kísérletvezető előre meghatározhatja a hatalmi pozíciókat, kialakíthat csoportokat, vagy akár megszabhatja a lehetséges kommunikációs utakat.

A speciális kapcsolati adatgyűjtési módokhoz tartozik a kisvilág-vizsgálat is. A kisvilág-vizsgálat annak meghatározására szolgál, hogy a válaszadó milyen távol áll egy előre meghatározott célszemélytől az ismeretségek tekintetében. Nemcsak a láncok hossza érdekes, hanem a láncban részt vevő szereplők tulajdonságai is.

A keresztmetszeti vizsgálatok mellett a kapcsolatháló-kutatók számára is fontosak a longitudinális adatok, ahol a kapcsolatháló-jellemzők, illetve -kapcsolatok időbeni változását vizsgálják. Az egymást követő időszakokban újra és újra lekérdezik a kapcsolathálót, így fény derül a kapcsolatok stabilitására vagy kapcsolati evolúcióra.

Az információszerzés egy további sajátos megközelítése a Barabási és Albert által kidolgozott módszer, amely segítségével skálafüggetlen hálózatokat (a későbbiekben ennek részleteire is kitérünk) hoznak létre. Szakítottak azzal a hagyománnyal, amely a hálózatokat a kapcsolódások átrendezésével vezette le, és hálózataikat a nulláról építették fel. Ezzel modellezték, általánosították a hálózati megfigyelések addigi eredményeit (mint például a world wide web, illetve az amerikai elektromos távvezetékek hálózata).

Napjainkban új távlatokat nyitnak az Interneten keletkező, nyomot hagyó vagy nyilvánított adattömegek, amelyek kezelése viszont sok szempontból egészen más típusú megközelítéseket igényel.

Az adatgyűjtési mód megfelelő kiválasztása a kutatás sikerének záloga lehet. Az is fontos, hogy a vizsgálatok során az adatgyűjtési mód bemutatására is részletesen ki kell térni, mert az fogja kontextusba helyezni a kapott eredmények hatókörét, illetve az validálja a levont következtetéseket.

Az adatfelvételek során az is meghatározó lehet, hogy mennyire pontosak a begyűjtött adatok, mennyire megbízhatóak a válaszok, milyen típusú nem mintavételi hibákra (mérési, válaszadási) hibákra lehet számítani. Születtek vizsgálatok arra vonatkozóan is, hogy mennyire precízek a válaszadók által megadott kapcsolati adatok. A vizsgálatok folyamán egyrészt megfigyelték a válaszadók interakcióit, kapcsolathálóját, másrészt megkérdezték őket kapcsolataikról. Azt tapasztalták, hogy a válaszadók által közölt adatok körülbelül fele valamilyen módon hibás, eltér a megfigyeltéktől. Ugyanakkor más kutatók arra hívták fel a figyelmet, hogy azok az igazán fontos kapcsolatok, interakciók, amikre a válaszadó jól emlékszik, mert ezek adják az interakciók stabil mintázatát. A megbízhatóság kérdése azokban az esetekben is felmerül, mikor szervezetek kapcsolatai a kutatás célpontjai és a kutató nem a kompetens személytől szerez információkat.

3.5. Főbb mutatók

A korábbiakban ismertetett mátrixok alapján a hálózati mutatók (indexek) számtalan típusa alkotható meg mind a hálózati szereplők, mind pedig a teljes hálózat szintjén. Míg az egyéni szintű mutatók az ún. Én-hálózat strukturális sajátosságait juttatják kifejezésre, addig a teljes hálózat szintjén értelmezhető indexek a hálózat, mint egységes egész szerkezetét jellemzik.

Az individuális szintű relációs ismérvek (az Én-hálózatok jellemzői) közé mindenekelőtt az egót a hálózat többi tagjával közvetlenül összekötő kapcsolatok száma tartozik. Ezt az adott hálózati pont fokának (degree) nevezik. A szomszédossági mátrixból ezt az értéket úgy kaphatjuk meg, ha megszámloljuk a kérdéses pont sorában és oszlopában előforduló 1-es értékeket. Irányított gráfok esetén szükség lehet az adott szereplőtől induló és a hozzá érkező relációk megkülönböztetésére. Ezekben az esetekben a hálózati pont fokát külön-külön adhatjuk meg a kimenő és a bemenő kapcsolatokra vonatkozóan. Abban az esetben, ha a szomszédossági mátrixban megszámloljuk, hogy a tetszőleges hálózati pont sorában hányszor fordul elő 1-es érték, akkor a kérdéses pont kifokát (outdegree) kapjuk meg. Egy hálózati pont oszlopában előforduló egyes értékek összege viszont a vizsgált pont befokát (indegree) adja meg.

A hálózat struktúrájának számos globális mutatója közül a legtöbbször használt és egyben legegyszerűbb mutatónak az átlagos fokszám tekinthető. Ez azt mutatja meg, hogy a hálózat egy tagjának átlagosan mennyi kapcsolata van. Formálisan a csomópontok egyedi fokszámainak (kapcsolati számainak) átlagaként adható meg. Az átlagos fokszám azonban abszolút mutató, így az a különböző méretű (csomópontszámú) hálózatok esetén közvetlenül nem hasonlítható össze. (Sebestyén, 2011) Összehasonlításra inkább alkalmas lesz a később bemutatásra kerülő sűrűség mutatója.

Ha az Én-hálózat egyben többszörös hálózat, akkor megadhatjuk a cselekvő multiplexitásának mértékét is. Ezen az egót a személyes hálózat más pontjaihoz fűző kapcsolatok rétegzettségének mértékét kell értenünk. Két szereplő kapcsolatát egyrétegűnek (uniplexnek) nevezzük abban az esetben, ha csak egyféle tartalma van, míg többretegűnek (multiplexnek) akkor, ha többféle hálózati tartalommal létezik. A rétegzettségi index pedig azt mutatja, hogy a szereplő lehetséges kapcsolatainak hány százaléka multiplex.

Ha a vizsgált szereplő szomszédos alanyokhoz fűződő kapcsolatainak számát az ego beágyazottságának egyik mérőszámaként vesszük tekintetbe, akkor a cselekvő-multiplexitás ennek a tisztán "terjedelmi" jellemzőnek az intenzitását jelzi. Az egocentrikus hálózat sűrűségén az adott egóhoz kapcsolódó „alter”-ek egymás közötti kapcsolatainak sűrűségét értjük. A sűrűség gyakorlatilag az adott szereplők között ténylegesen létező és potenciálisan lehetséges kapcsolatok aránya, vagyis egy megoszlási viszonyszám. Kiszámításakor azonban figyelembe kell vennünk, hogy az összes potenciális kapcsolat számának definiálása olyan pont, ahol a hálózati kapcsolatok súlyozottsága problémákat vet fel. Ha ugyanis a kapcsolatok súlyozatlanok (vagyis a kapcsolatokat leíró mátrix elemei nullák vagy egyesek), akkor a kapcsolatok potenciális (maximális) száma egy N elemű (irányítatlan) hálózat esetén $N(N-1)/2$. Amennyiben viszont a kapcsolatok súlyozottak, úgy a sűrűségnél figyelembe kell vennünk a kapcsolati intenzitásból fakadó különbségeket.

Az elérhetőség mutatójával az egyén és a hálózat többi tagja közötti távolság ragadható meg. Egy hálózat egy szereplője egy másik szereplőtől lehet közvetlenül elérhető, közvetetten elérhető vagy elérhetetlen. Egy egyén annál nehezebben elérhető, minél több közvetítésen (lépésen) keresztül lehet őt elérni. Az elérhetőség hosszát az adja meg, hogy egy tetszőleges szereplőt hány lépésben lehet elérni a másiktól.

A későbbiekben fontos szerepet játszik majd a gyenge kapcsolatok jelenléte. Ezért ezt a fogalmat is érdemes letisztázni. A hálózat két eleme közötti kapcsolat akkor tekinthető gyengének, ha a kapcsolat elvétele, vagy hozzáadása statisztikai eszközökkel értékelhető módon nem befolyásolja a hálózat jellemző tulajdonságának átlagát. A gyenge kapcsolat éppen ezért stabilizálják a hálózatokat. (Csermely, 2005)

A gráfelméleti megközelítést jól lehet alkalmazni a legfontosabb szereplő meghatározására. A fontos szereplők általában a kapcsolatháló stratégiai pontjaiban helyezkednek el, de a fontosság számítása több módon is megközelíthető, attól függően, hogy mi alapján tekintünk valakit fontosnak. Tekinthetjük azt központi személynek, aki a legnagyobb kapcsolati aktivitást mutatja, és akihez sokan kapcsolódnak, vagy aki sok emberrel tart fenn minél szorosabb kapcsolatot; esetleg olyan szereplőket, akik hálózatmegszakító pozícióban vannak. Ha a vizsgált hálózat irányított kapcsolatokat tartalmaz, akkor az egyes hálózati pontok fokának ismeretéből kiindulva a relációs adatok segítségével új értelmezést adhatunk a presztízs fogalmának is. Eszerint egy szereplő egy hálózaton belül annál nagyobb presztízzsel rendelkezik, minél több az általa fogadott kapcsolatok száma. A presztízs kifinomultabb mérőszámai tekintetbe veszik az egóhoz közvetlenül kapcsolódó alter-ek presztízsének értékeit is. A centralitás fogalmát tehát általában nem irányított gráfoknál, míg a presztízst irányított gráfok esetén alkalmazzák. A centralitásnál elsősorban az a fontos számunkra, hogy a szereplő

részt vesz a kapcsolatokban, az pedig kevésbé, hogy küldője vagy fogadója ezeknek. A presztízses esetén azt vizsgáljuk, hány kötés mutat az adott szereplő felé, azaz számunkra ilyenkor a fogadó az érdekes: vannak emberek, akiket sokan vallanak barátjuknak, akikhez szívesen fordulnak tanácsért, ezek a kapcsolati választások azonban sok esetben nem szimmetrikusak. Egy pont presztízse ugyanakkor nemcsak attól függ, hány szereplő választja őt, hanem attól is, hogy milyen presztízsesek a választók. Minél több magas presztízses szereplő választja kapcsolatának az elemzett személyt, annak annál nagyobb az elismertsége. A presztízsszel szinonimaként használhatjuk a státuszt, a rangot vagy akár a népszerűséget.

Ahhoz, hogy csoportokat hasonlíthassunk össze, csoportszintű centralitást és presztízst is érdemes számolni. Ebben az esetben a centralitás/presztízses varianciája az igazán fontos információ, azaz hogy milyen mértékű különbségek vannak az egyes szereplők centralitásai/presztízsei közt.

CENTRALITÁS

Az egyik jellemző centralitásszámítási mód a fok-centralitás (degree centrality), ahol abból indulunk ki, hogy a szereplő aktivitását a fok (azaz a hozzá közvetlenül kapcsolódó más szereplők száma) jól méri. Az a probléma adódik, hogy a mutató függ a háló nagyságától, így összehasonlításra csak az adott hálón belül használható. Két különböző méretű kapcsolatháló egy-egy pontjának összehasonlításához ezt a számot el kell osztani a maximális értékével. Ez a számítási mód a szereplők aktivitására koncentrál. A fok centralitás alapján többféle csoport szintű index is számítható. A következő centralitás számítási mód a közelség centralitás (closeness centrality), ami abból indul ki, hogy egy szereplő akkor van központi helyzetben, ha minden tagot viszonylag könnyen és gyorsan elér, így nem kell más szereplőkre hagyatkozni, például az információ gyűjtésénél (ami elsősorban azért fontos, mert több szereplő belépése az információs láncba általában annak torzulásához vezet). A számítás azon az elképzelésen alapul, hogy a centralitás fordítottan arányos a szereplők közti távolsággal, így ha összegezzük egy szereplő összes többi ponttól mért távolságát, és ennek vesszük a reciprokát, megkapjuk az adott szereplőre jellemző közelségen alapuló központiség-mutatót. A távolság számításához ismernünk kell a séta (walk), a vonal (trail) és az út (path) fogalmakat. A séta pontok és élek olyan sorozata, mely ponttal kezdődik és azzal is végződik, egy pontot mindig hozzá illeszkedő él előz meg és az is követ a sorozatban, a pontok és élek többször is előfordulhatnak. A vonal olyan séta, melyben az élek nem ismétlődnek a sorozatban, az út esetén pedig a pontok sem fordulhatnak elő egynél többször (ilyenkor az élek sem ismétlődhetnek). A séta, a vonal és az út hossza minden esetben a benne szereplő élek száma. Két pont közti távolság a két pont közötti legrövidebb út hosszával egyenlő. Ha két pont közt nincs út, a távolságot végtelennek definiáljuk.

A harmadik centralitás számítási lehetőség az ún. közöttség centralitás (betweenness centrality), ahol a kiindulási pont az, hogy igazán azoknak a szereplőknek van hatalma, akik képesek ellenőrizni a kapcsolathálóban áramló erőforrásokat, azaz akik sok másik szereplő között helyezkednek el. Így például, ha egy adott pontból a legrövidebb út egy másik pont felé két másik szereplőn keresztül vezet, a két közbülső szereplő meghatározó lehet a kapcsolatokban (ezek a közvetítők vagy brókerek). Így tulajdonképpen azokat az utakat kell összegeznünk, melyek minimális hosszúságúak, és keresztülhaladnak az adott szereplőn. A legegyszerűbb azt feltételezni, hogy a két szereplő között áramló erőforrások mindig a legrövidebb utat választják, mivel elképzelhető, hogy több ilyen is van, feltételezzük, hogy mindegyik egyformán valószínű. Tulajdonképpen csak azokat a legrövidebb utakat kell figyelembe venni, amelyek a közbülső pontot tartalmazzák.

A vázlatosan bemutatott centralitás-indexek irányított kapcsolatokra is számítható a megfelelő átalakításokkal, de ahogy már utaltunk rá, irányított gráfoknál inkább presztízst számolnak, mint centralitást.

PRESZTÍZS

A legegyszerűbb presztízsz-mutató a fok-presztíz (degree prestige). Itt a szereplő felé irányuló kapcsolatokat veszik számba, és azokat a kapcsolatháló-tagokat tekintik magas presztízssűnek, akiket sokan választanak. Egy adott szereplő presztízst vizsgálva a mutató az adott pont befokával egyenlő. Az index a maximumával normálható, így maximális értéke 1 lesz, amit akkor vesz fel, ha minden más kapcsolatháló-szereplő az adott szereplőt választja.

Egy másik lehetséges presztízsszámítási mód a szomszédsági presztíz (proximity prestige), ahol a mutató azt méri, milyen közel vannak más szereplők az adott kiválasztott aktorhoz. Ez a közelség gyakorlatilag a szereplők közti távolságot jelöli, azonban irányított gráfok esetén a két pont közti távolság eltérhet a nem irányított gráfok esetén számolt távolságtól. Ez abból adódik, hogy a távolság két pont között akár különböző értékeket is felvehet, mivel a távolságszámításnál követni kell a nyilak irányát. Jelen esetben a kiszemelt szereplő felé kapcsolatokat indító szereplők távolságát vizsgálják az adott szereplőhöz.

A rangpresztíz (rank prestige) olyan presztízsz-mutató, mely azt is számításba veszi, hogy milyen tulajdonságokkal rendelkeznek azok, akik a vizsgált szereplőt választják. Ha őt csak marginális szereplők választják, nem lesz akkora presztízse, mint akkor, mikor központi szerepet betöltő, sok magas presztízssű hálótag vallja őt barátjának, vagy kér tőle tanácsot. Így egy kapcsolatháló-szereplő rangját az őt választók rangja határozza meg. Mivel ez minden kapcsolatháló-szereplőre igaz, a rangok láncolatát kell feltérképeznünk egy adott szereplő rangjának meghatározásához. Ezt legegyszerűbben mátrixalgebrai úton tehetjük meg, sajátértékek számításával.

A különböző centralitás- és presztízsz-mutatók bizonyos típusú hálózatokra való alkalmazhatóságát, az egyes mutatók előnyeit és hátrányait, érzékenységüket a mintavétel módjára minden gyakorlati felhasználás előtt érdemes figyelembe venni és mérlegelni. A felvázolt mutatók zömének számtalan válfaja került kidolgozásra. A leginkább megfelelő index kiválasztásához nem áll a kutató rendelkezésére semmiféle általános érvényű szabály. A kiválasztásnak minden esetben a vizsgált probléma empirikus természetének és tartalmi sajátosságainak alapos mérlegelésén kell alapulnia.

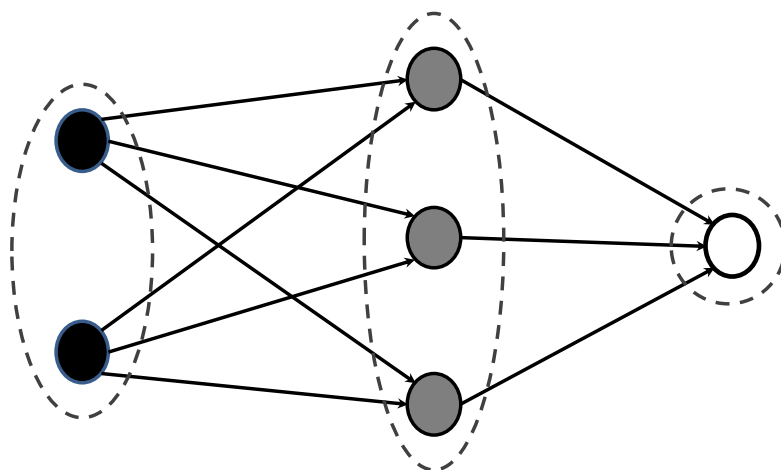
STRUKTURÁLIS EKVIVALENCIA ÉS BLOKKMODELLEK

Az ekvivalencia számítás a közel azonos kapcsolati helyzetben lévő szereplők azonosítására szolgáló módszer. Ez azért fontos, mert ezáltal a kapcsolatháló komplexitását vagyunk képesek redukálni. Az ekvivalencia azonosítására többféle módszer, definíció is kidolgozásra került. Amikor azonos, vagy legalábbis hasonló pozícióban lévő aktorokat keresünk, az első lépés éppen annak eldöntése lesz, hogy hogyan definiáljuk az ekvivalenciát. Ezek után az adott definíció alapján megmérjük, mely szereplők és milyen mértékben ekvivalensek. Itt most a strukturális ekvivalenciával fogunk részletesebben foglalkozni. Az ekvivalencia mértéke valójában egy skálán lesz mérhető; lesznek szereplők, amik inkább ekvivalensek, míg mások kevésbé. A skála egyik végpontja a tökéletes strukturális ekvivalencia, a másik végpont pedig az, mikor az egyik aktornak csak azokkal van kapcsolata, akikkel a másoknak nincs. Harmadik lépésként az ekvivalens szereplők csoportba (ekvivalens pozícióba) sorolása történik meg,

illetve ennek megjelenítése, amire alkalmazhatunk például image mátrixot vagy redukált gráfot (e két fogalomra később térünk ki). Utolsóként azt is érdemes megvizsgálni, hogy mennyire megfelelő a besorolás, ábrázolás.

Két pont strukturálisan ekvivalens, ha azonos kötéseik vannak a többi szereplővel. Ez annyit jelent, hogy i aktortól ugyanazon szereplők felé indulnak kötések, mint j aktortól, illetve hogy i szereplő felé ugyanazon aktoroktól indulnak kötések, mint j szereplő felé, azaz a két pont pontosan ugyanazon más pontokkal szomszédos. A szociomátrixban ez úgy jelenik meg, hogy a két strukturálisan ekvivalens aktornak a sorai és oszlopai azonosak, azaz ugyanott vannak 1-ek és 0-ák (kivéve az egymás felé irányuló kapcsolatokat esetét). Nem irányított gráfok esetén elegendő csak a sorokat vagy csak az oszlopokat figyelembe venni. Ha két szereplő strukturálisan ekvivalens, akkor helyettesíthetők. A következő (5.) ábrán a két fekete szereplő strukturálisan ekvivalens, mivel mindkettő ugyanazon a három szereplő felé irányít kapcsolatokat és nem fogad kapcsolatokat, ugyan így strukturálisan ekvivalens a három szürke színnel jelzett szereplő, mivel ugyanattól a két aktortól fogadnak és ugyanazon szereplő felé küldenek kapcsolatot. Így három csoport képezhető az ekvivalencia alapján.

5. ábra: Strukturálisan ekvivalens szereplők



A strukturális ekvivalencia értelmezhető bonyolultabb gráfok esetén is. Így például az értékkel rendelkező gráfoknál (valued) akkor strukturálisan ekvivalens két szereplő, ha a kapcsolatok értékei is megegyeznek. Így például ha az értékek a kapcsolatok szorosságát jelzik, akkor a strukturális ekvivalencia két szereplőnél akkor áll fenn, ha pontosan ugyanazon aktorokkal tartanak fenn szoros kapcsolatot, és ugyanazokkal kevésbé szoros.

A strukturális ekvivalencia mérésénél tehát a beérkező és kifelé irányuló kötések egyaránt mérjük, és ezek alapján keressük a hasonló pontokat. A strukturális ekvivalencia mérésénél különböző módszerek alkalmazhatók, így például az euklideszi távolságon alapuló mérési módszer, vagy a korreláción alapuló mérés. Az euklideszi távolságon alapuló mérésnél ki kell számolnunk az euklideszi távolságot a két szereplő között, ami úgy történik, hogy a két szereplő sorainak és oszlopaiknak értékeit páronként kivonjuk egymásból, és e különbségek négyzeteit összegezzük, majd gyököt vonunk. Ha a két szereplő strukturálisan ekvivalens, akkor a szociomátrixban soraik és oszlopaik megegyeznek (az egymás felé irányuló kapcsolatokat nem vesszük figyelembe), így az euklideszi távolság köztük 0, ellenkező esetben ennél nagyobb. Páronként kiszámolva a távolságokat ezek mátrixba rendezhetők, ahol a mátrix elemei a sor- és oszlop-szereplő közti távolságot jelzik (távolságmátrix). Egy másik lehetőség a strukturális ekvivalencia számítására a korreláción alapuló számítás. Itt a két szereplő sorai és oszlopai

közi Pearson-féle korrelációs együtthatót számítjuk ki. Ha két szereplő strukturálisan ekvivalens, a korrelációs koefficiens értéke 1 lesz (függvényszerű kapcsolat áll fenn közöttük). Mivel minden lehetséges aktorpár közt kiszámítjuk a korrelációs együttható. A kapott értékek éppúgy mátrixba rendezhetők, mint az euklideszi távolság esetén, ahol a mátrix értékei 1-ek, ha a sor- és oszlop-szereplők strukturálisan ekvivalensek (korrelációs mátrix).

A különböző strukturális ekvivalencia számításnál különböző eredményeket kaphatunk. Elképzelhető, hogy míg a korrelációs számításos módszer tökéletes ekvivalenciát jelez, az euklideszi távolság alapján kapott érték ezt nem erősíti meg.

Miután megkaptuk a hasonlóságokat jelző mátrixokat (a távolságmátrixot vagy a korrelációs mátrixot), a következő feladat a szereplők csoportokba rendezése lesz hasonlóságuk, illetve közelségük alapján. A cél az, hogy az egymáshoz közel lévő szereplők egy csoportba kerüljenek, míg a távolabbiak egy másikba. Az egyik lehetőség a csoportosításra az ún. CONCOR-eljárás, a másik pedig a hierarchikus klaszteranalízis. A CONCOR az iterált korrelációk konvergenciáján alapul. Ez annyit jelent, hogy egymás után többször számolunk korrelációs együtthatókat a sorok és oszlopok között. Az első lépés tehát a kapcsolati adatokat tartalmazó mátrix sorai vagy oszlopai közötti korrelációs számítás, aminek eredményeként megkapjuk a korrelációs mátrixot. A CONCOR ezután ezt a korrelációs mátrixot tekinti inputnak, és újra korrelációt számol a sorok (vagy oszlopok) közt, kiszámítva a korrelációs együtthatók korrelációit. Így egy következő korrelációs mátrixhoz jutunk. Erre újra alkalmazva a korrelációs számítást egy harmadik korrelációs mátrixot kapunk. Egymás után sokszor megismételve ezt az eljárást a mátrixban található értékek vagy 1-et, vagy -1-et vesznek fel. Ezek után permutálva (átrendezve) a sorokat (és oszlopokat) olyan almátrixokat kaphatunk, ahol csak 1-ek vagy csak -1-ek állnak, így ezeket a blokkokat helyettesíthetjük 1-gyel vagy -1-gyel. Ezzel két pozíciót azonosítottunk. Azonban valószínű, hogy több pozíció is van a hálózatban, így az eljárás az almátrixokra is alkalmazható, amelynek következtében finomabb csoportosítást is kaphatunk. Minden újabb eljárással az eredetileg egy csoportba sorolt szereplőkből két csoport képződik (ennek az eljárásnak többek közt az az egyik problémája, hogy mindig csak kettős bontásokra képes, azaz mindig páros számú csoportot kínál fel, ami nem feltétlenül tükrözi vissza a valóságot). A kérdés az, hogy meddig folytassuk a csoportképzést, milyen finomságú csoportosítást alkalmazzunk. Az eredmények dendrogrammal ábrázolhatók.

A hierarchikus klaszter-analízis a másik lehetséges eljárás az szereplők csoportosítására. Ez a módszer arra szolgál, hogy azokat a szereplőket sorolja egy csoportba, akik egy definiált értékkel jelzett hasonlóságnál inkább hasonlóak.

Az input adatok itt a hasonlóságot jelző euklideszi távolságokat (lehetőség van más távolságmérték alkalmazása is) vagy a korrelációs együtthatókat tartalmazó mátrixok lehetnek. A kérdés, hogy milyen módon képeztessük a klasztereket (csoportokat), azaz mely szereplők kerüljenek összevonásra és milyen sorrendben. A csoportképzésre több lehetséges módszer is adódik, az eredmények pedig itt is dendrogrammal ábrázolhatók, ahol szintén a kutatónak kell döntenie a csoportszámáról.

Bármelyik eljárást alkalmazzuk is, végeredményül megkapjuk az aktoroknak a kötéseik hasonlósága alapján való lehetséges csoportosítását, azaz meg tudjuk határozni, hogy mely szereplők tartoznak egy pozícióba. Következő feladatunk, hogy megvizsgáljuk, e pozíciók hogyan viszonyulnak egymáshoz. Kiindulásképpen helyezük egymás mellé azokat az aktorokat, melyekről megállapítottuk, hogy strukturálisan ekvivalensek; ez a szociomátrix sorainak és oszlopainak permutálásával elérhető. Így olyan almátrixok állnak elő, amelyekben tiszta esetben csak 0-ák, vagy csak 1-ek szerepelnek (lásd 6. ábra). Az almátrixok mentén felbonthatjuk az eredeti mátrixot, és helyettesíthetjük a csupa 1-esekből álló almátrixot 1-gyel,

míg a csupa nullából álló almátrixot 0-val, így kapjuk meg az úgynevezett image-mátrixot. Az egyik lehetőség a csoportosításra az ún. CONCOR-eljárás, a másik pedig a hierarchikus klaszter-analízis. A CONCOR az iterált korrelációk konvergenciáján alapul. Ez annyit jelent, hogy egymás után többször számolunk korrelációt a sorok és oszlopok között.

6. ábra: Eredeti és permutált mátrix

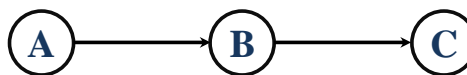
	1	2	3	4	5	6
1	-	1	1	1	0	0
2	0	-	0	0	1	0
3	0	0	-	0	1	0
4	0	0	0	-	1	0
5	0	0	0	0	-	0
6	0	1	1	1	0	-

	1	6	2	3	4	5
1	-	0	1	1	1	0
6	0	-	1	1	1	0
2	0	0	-	0	0	1
3	0	0	0	-	0	1
4	0	0	0	0	-	1
5	0	0	0	0	0	-

Az image-mátrix ábrázolható redukált gráffal, ahol az egyes csoportok képezik a gráf pontjait, és az élek jelzik az azonos pozícióval rendelkezők csoportjai közt a kapcsolatot (lásd 7. ábra). A redukált gráfban elképzelhetők reflexív kapcsolatok is, azaz amennyiben a strukturálisan ekvivalens szereplők az adott pozíción belül is kapcsolódnak egymáshoz, akkor az image mátrix átlójában is állhatnak 1-esek. Az image-mátrix tartalmaz minden strukturális információt, mégis jóval egyszerűbben áttekinthető, mint az eredeti mátrix. Természetesen viszonylag ritkán fordul elő, hogy az almátrixok (blokkok) csak 1-eket vagy csak 0-akat tartalmazzanak, így a „nem tiszta” esetekben nekünk kell eldöntenünk, hogy egy adott almátrixot mikor helyettesíthetünk 1-gyel és mikor 0-val. Annak meghatározására, hogy vajon egy blokkot 1-gyel vagy 0-val jelöljünk-e, több kritérium is megadható. A tökéletes illeszkedés kritériuma szerint csak akkor jelölhetünk 1-gyel illetve 0-val egy blokkot, ha az almátrixokban csak 1-ek vagy csak 0-k állnak (ez volt a már tárgyalt „tiszta eset”). A zéróblokk-kritérium szerint akkor nincs kapcsolat két pozíció közt (azaz akkor beszélhetünk zéróblokkról, akkor jelölhetjük 0-val az almátrixot), ha a sorpozíció egyetlen eleme sem indít kapcsolatot az oszloppozíció elemei felé, minden egyéb esetben (azaz ha akár egy olyan szereplő is van az egyik blokkban, aki indít kapcsolatot a másik blokk valamely szereplője felé) van kapcsolat, azaz 1-gyel kell jelölni az indító blokkját. Az egyblokk-kritérium pont ellenkező oldalról közelíti meg a problémát: akkor van kapcsolat két pozíció közt, ha a sorpozíció minden aktora indít kapcsolatokat az oszloppozíció minden szereplője felé, ellenkező esetben (ha csak egy 0 is található az almátrixban) a két pozíció közt nincs kapcsolat, így azt 0-val kell jelölni. A sűrűség-kritérium szerint akkor tekintünk egy kötést meglévőnek két pozíció közt, ha az almátrix sűrűsége egy bizonyos értéknél nagyobb vagy egyenlő.

7. ábra: Az image mátrix és a redukált gráf

	A	B	C
A	0	1	0
B	0	0	1
C	0	0	0



A sűrűség – ahogy erről már korábban is esett szó – a jelenlévő és lehetséges kapcsolatok arányából számítható. Hasonlóképpen számolhatunk sűrűséget a pozíción (blokkon) belül is. Ha az így kiszámított sűrűség egy általunk megadott értéknél nagyobb vagy egyenlő, 1-gyel jelöljük a blokkot, egyébként 0-val. A viszonyítási érték lehet a teljes kapcsolatháló-sűrűség, vagy mivel többfajta kapcsolathálót vizsgálunk, a kapcsolattípusonkénti sűrűséget is vehetjük alapul.

A blokkmodellek felvázolása után sokkal érdekesebb kérdés az értelmezésük. Az egyik lehetőség az értelmezésre az, ha megnézzük, hogy az egyes pozícióba került szereplők milyen tulajdonságokkal rendelkeznek, mert ha van szisztematikus kapcsolat a pozícióba való besorolás és a tagok jellemzői között, az megerősítheti a modellt. A hálóbeli pozíció és a szereplők személyes jellemzői között fennálló kapcsolat kétirányú is lehet: egyrészt a jellemzők befolyásolhatják a pozíciót, ugyanakkor ez visszafelé is hathat, vagyis a hasonló pozíció hatással lehet a személyes jellemzőkre, például véleményhasonlóságok alakulhatnak ki. A másik értelmezési mód a pozíciók (blokkok) kapcsolat központú értelmezése. Az egyéneknek használt jelzőket, mint izolált, fogadó, küldő stb. a pozíciókra is alkalmazhatjuk. Fontos ezen esetekben azt is figyelembe venni, hogy mekkora a pozíció mérete, mivel ha a blokk az egész kapcsolatháló méretéhez képest viszonylag nagy, akkor valószínűbb, hogy az adott pozícióban lévők egymás felé is nagyszámú kötést irányítanak. Ezért figyelembe kell vennünk az adott blokk által küldött összes kapcsolat és az adott blokkon belülről küldött kapcsolatok arányát. A harmadik lehetőség a blokkmodellek értelmezésére az image-mátrix. Az image-mátrix mintázatai igazolhatják vagy cáfolhatják a kutató által felállított teóriákat. Így például egy olyan image-mátrix, aminek csak a főátlójában vannak 1-ek, kohézív alcsoportokra utal, de detektálható a centrumperiféria-modell is, ahol van egy centrum, ami főként kapcsolatokat fogad, és belső kapcsolatai vannak, valamint egy vagy több olyan nem centrum helyzetű pozíció, ami egymáshoz nem, csak a centrumhoz kapcsolódik. A perifériák belső kapcsolódására nincs kitétel. Ehhez hasonló a centralizált modell, ahol az összes kapcsolat egy pozíció felé mutat, de a visszafelé irányuló kapcsolatok nincsenek meg. Ekkor az image-mátrixnak csak egy oszlopában állnak 1-ek.

Számtalan tiszta elméleti eset fogható meg az image-mátrix ábrázolása és értelmezése révén, de a blokkmodellek értelmezésére akár mind a három módszer együttesen is alkalmazható.

4. A hálózatkutatás átfogó fogalmi rendszere

KISVILÁG

A gráfelmélet az ún. véletlen hálózatok elméletének kidolgozásával kísérelt meg választ adni a hálózatokkal kapcsolatos kérdések egy részére. Azonban viszonylag hamar fény derült arra, hogy a valódi világ hálózatai nem igazán írhatók le teljes mértékben véletlen hálózatokkal, hanem sokkal inkább jól azonosítható, specifikus struktúrákba rendeződnek. A társadalmi hálózatokat vizsgáló szociológia mutatta rá először, hogy ezen hálózatok jellegzetes szerveződési struktúrája nem felel meg a véletlenszerűség követelményének. A kutatások során a társadalmi hálózatokat inkább „kisvilágokként” írják le, ahol egymással szorosan összefüggő lokális csoportokat áthidaló kapcsolatok kötnek össze. (Sebestyén, 2011) Maga az elnevezés arra utal, hogy a csomópontok közötti átlagos távolság relatíve kicsi, miközben a lokális csoportok megőrzik viszonylag éles határvonalait. A mi világunk is kisvilág. Barátaink egyre tágabb köre, a társadalmi hálózatok, az áramhálózatok, sőt az idegsejtek hálózatai is mind kisvilágok. A kisvilág, definíció szerint egy olyan hálózat, amelyben az átlagos úthossz az Erdős-Rényi-féle random gráfok meglehetősen kis átlagos úthosszához közel esik, és ezzel együtt a hálózat csoportterösségi együtthatója a random gráfok együtthatójánál sokkal magasabb (Watts, 1999). A kisvilág jelenség tettenérése sokszor attól függ, hogy mit tekintünk a hálózat tagjának. Annak legkisebb, legapróbb „molekuláját”, vagy legfontosabb, megőrződő részleteire koncentrálnunk.

A kisvilágságból eredeztethető a „hat kézfogás” népszerű elmélete is. Ez azt jelenti, hogy a földön két tetszőleges embert kiválasztva legfeljebb hat kézfogással követlen ismerősökön keresztül el tud jutni egymáshoz a két ember. Ez a felfedezés egyáltalán nem új keletű. Már Karinthy Frigyes 1929-es Láncszemek című novellájában felbukkan ez az „ötlet”. Karinthy azt írja: „Annak bizonyításául, hogy a Földgolyó lakossága sokkal közelebb van egymáshoz, mindenféle tekintetben, mint ahogy valaha is volt, próbát ajánlott fel a társaság egyik tagja. Tessék egy akármilyen meghatározható egyént kijelölni a Föld másfél milliárd lakója közül, bármelyik pontján a Földnek – ő fogadást ajánl, hogy legföljebb öt más egyénen keresztül, kik közül az egyik neki személyes ismerőse, kapcsolatot tud létesíteni az illetővel, csupa közvetlen – ismeretség – alapon, mint ahogy mondani szokták: „Kérlek, te ismered X. Y.-t, szólj neki, hogy szóljon Z. V.-nek, aki neki ismerőse...”

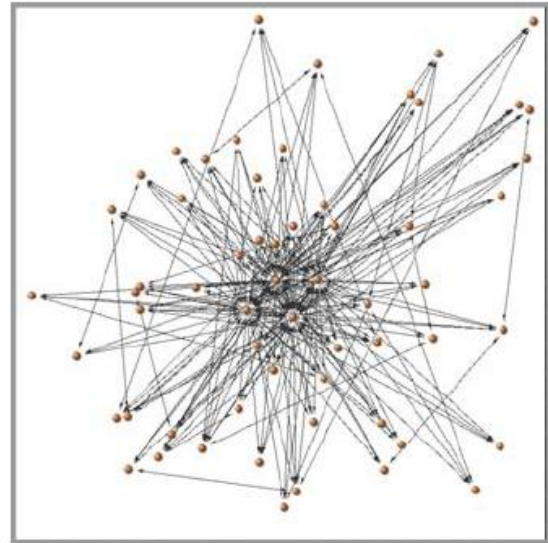
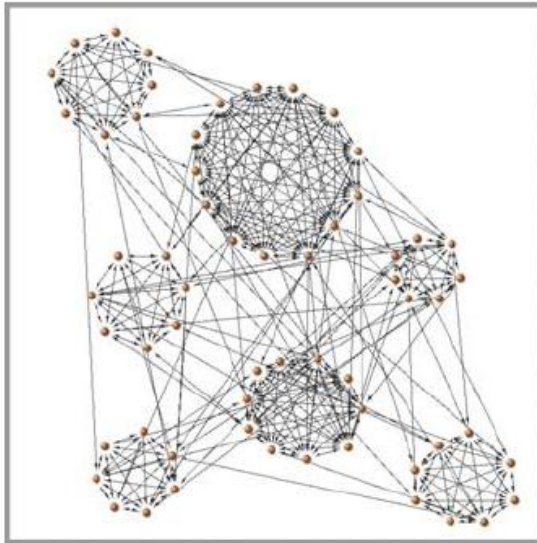
Az elméletet Stanley Milgram amerikai pszichológus igazolta 1967-ben pontosan az úgynevezett kisvilág tulajdonságot vizsgálva. Azóta már Barabási munkássága is hozzájárult a bizonyossághoz. Az is kiderült a kisvilágok méretével összefüggést mutat a két ember között szükséges „kézfogások” száma, vagyis az elérési út hossza. Viszont az összefüggés korántsem lineáris, sokkal inkább logaritmikus jelleget ölt. Ez azt jelenti, hogy az elemek számának meg kell tízszeresülnie ahhoz, hogy eggyel növekedjen a szükséges „kézfogások” száma. Ez kicsi csoportok esetén nem igényel túl nagy növekedést, de a Földünk 7 milliárdos népessége esetén további 3 milliárd ember kellene ahhoz, hogy az elérési út egy lépcsővel megnövekedjen.

SKÁLAFÜGGETLENSÉG

Akárcsak a véletlen hálózatok, a kisvilágok is leírhatók egy reprezentatív csomóponttal, vagyis egy átlagos kapcsolati számmal. Barabási (2002) azonban azt emeli ki, hogy a valós hálózatok nem jellemezhetők ilyen tipikus szereplőkkel: néhány csomópont rendkívül nagyszámú, míg a legtöbb hálózati elemnek csak igen kevés szomszédja van. Az átlagos fokszám ugyan megadható, a hálózat struktúráját azonban döntően a nagyszámú kapcsolattal rendelkező, extrémális elemek határozzák meg: egy-egy ilyen csomópont kiesése adott esetben a hálózat széteséséhez vezethet – ezt a speciális struktúrát skálafüggetlen hálózatnak nevezzük.

A skálafüggetlenség egy eloszlásfajtára utal. Ez bármilyen tulajdonság megoszlása lehet, ami konkrétan meghatározott értékekkel jellemezhető. A skálafüggetlen eloszlások hatványfüggvényt követnek. A skálafüggetlen megoszlást a hálózatok elemeinek fokszámmegoszlásán tanulmányozták a leggyakrabban. A skálafüggetlen viselkedést már nagyon régóta használják a fizikai kísérletei tények általános összefüggéseinek leírására. Például az allometrikus törvények számos olyan összefüggést írnak le, amelyek a sejtek, szervek és élőlények tömege és más tulajdonságai (pl. anyagcseréjének sebessége) között teremtenek széles határokon belül érvényes kapcsolatokat. A minket körülvevő élet nagyon sok területén találunk skálafüggetlen eloszlásokat. Ilyenek például a fehérjedomének atomhálózata, az élesztő fehérje-fehérje kölcsönhatási hálózata, a táplálékláncok, az e-mail üzenetek megoszlása, a színészek együttes fellépése, a vagyoneelosztás Pareto-törvénye, a tudományos idézettség megoszlása, a számítógépes programcsomagok szerkezete az internet szerkezete, az elektromos mikroáramkörök kapcsolatrendszere, az eső gyakorisága stb.. Ezen hálózatok jellemezhetőek a fokszámkitevőjük segítségével, azonban emellett számos más tulajdonságukat (elemek, kölcsönhatások száma, átlagos fokszám, hálózat átmérője, csoporterősségi együttható, stb.) is ismerni kell ahhoz, hogy jellemezni tudjuk őket. A skálafüggetlen fokszámeloszlás több szempontból is előnyös. A rácsok és a random gráfok eloszlása között helyezkedik el, vagyis a kisvilághálózatokhoz hasonlóan könnyű tájékozódást és hálózaton belüli forgalmat biztosít. Emellett a hálózat sokkal érzékenyebb válaszáat teszik lehetővé, mint a random gráfok. Egy hálózati forma előnyös, ha megjelenése „gazdaságos”, illetve „kedvező”. A fennmaradáshoz azonban arra is szükség van, hogy a hibákkal szemben ellenálló legyen. A leggyakoribb az olyan véletlen hiba, ami tönkreteszi a hálózat egy vagy több elemét. A skálafüggetlen hálózatok ezekkel szemben is sokkal ellenállóbbak, mint a random gráfok. A véletlen hibák ugyanis „bárhol” előfordulhatnak, és ha ténylegesen véletlenek, akkor ugyanolyan valószínűséggel fognak elérni nagy és kicsi csomópontokat is. A skálafüggetlen hálózatokban pedig, ahogy a korábbiakban láthattuk, viszonylag kevés nagy, sok „huzallal” ellátott csomópont létezik, és mellettük rengeteg kicsi. A véletlen hibák, problémák nagyon kicsi eséllyel fognak éppen egy nagy csomópontot érinteni, mivel azok nagyon ritkán fordulnak elő. Ez azért lehet előnyös, mert például az ember biológiai felépítése, skálafüggetlen hálózatai lehetővé teszik, hogy egy-egy kis csomópont „meghibásodása”, megbetegedése esetén az egész rendszer ne omoljon össze (ne haljunk bele). Ugyanilyen jó példája lehet ennek az Internet, mint számítógépeket összekötő rendszer, ami szintén „jól tűri”, ha egy-egy kicsi csomópont meghibásodik. Attól még a rendszer nem dől össze. Hasonló a helyzet a repülőterek rendszerében is. A világon néhány igazán nagy reptér van, és nagyon sok kisebb, apró. Ha a kisebbek közül válik egy-két reptér használhatatlanná mondjuk műszaki hiba miatt, attól még a globális légi közlekedés nem fog megbénulni. Ráadásul ezek a legkülönbözőbb rendszerek nemcsak térben, hanem időben is skálafüggetlen viselkedést mutatnak. A probléma akkor adódik, ha célzott támadás áldozata lesz egy skálafüggetlen hálózat. Ezt ugyanis nagyon rosszul viseli, és nagyon hamar szétesik. Ha néhány igazán jelentős csomópont sérül meg, esik ki a rendszerből, az az egész hálózat működését veszélyezteti, és nagyon nehéz utána újra helyreállítani a tönkretett kapcsolatokat, „huzalokat”. Ez a mai, terrorfenyegetett közegben sajnos elég nagy fenyegetettséget jelent, mert a hálózatok megsemmisítésére, ellehetetlenítésére irányuló szándékos támadások nagyon hatékonyak lehetnek a nagy csomópontok ismeretében.

8. ábra: Tipikus kisvilág és skálafüggetlen hálózati struktúrák (Sebestyén, 2011)



EGYMÁSBAÁGYAZOTTSÁG

A hálózatok további fontos jellemzője az egymásbaágyazottság. Ez azt jelenti, hogy a hálózatok egymásba épült rendszerek, és a vizsgálat, nézőpont szintjétől függ, hogy ebből éppen mit látunk. Az egymásbaágyazottság nagyon gyakran a kölcsönös előnyök révén jön létre, vagyis a szimbiózis vezérli. A hálózatok ilyen integrációjához az szükséges, hogy az alhálózatok hosszabb időn keresztül stabilak legyenek. Sokszor előfordul, hogy a szimbiózisban élő alhálózatok megtartják eredeti önállóságuk egy részét, és az általuk alkotott főhálózat moduljaiként élnek tovább. Modulok több hálózatban megfigyelhetők. A modulok között a kapcsolatok viszonylag ritkábbak, és igen gyakran az egyes modulok csomópontjai csak egy, vagy több elemen át tudnak érintkezni egymással. Számos módszer alakult már ki a modulok objektív elkülönítésére. A modularizáció a random gráfokra is jellemző, spontán folyamat, de egy korábban létező alhálózat vagy alhálózatdarab megduplázódásával is létrejöhet. Akár alulról, akár felülről indul a modulszerveződés, a modulok kölcsönhatásának igen fontos esete az, amikor az egyes modulok nem egyenrangúak, hanem közöttük valamilyen hierarchia figyelhető meg. A modulszerveződés mutathat skálafüggetlen topológiát, de az is gyakran előfordul, hogy egy központi modulhoz kötődik az összes többi. Azt viszonylag nehéz meghatározni, hogy meddig főhálózat a főhálózat, mikor alakulnak ki moduljai, illetve, hogy ezek a modulok mikortól tekinthetők egy-egy külön alhálózatnak. Ehhez – a modulok és az elemként viselkedő alhálóok elhatárolásához – a következő szempontokat kell megvizsgálni: hány alháló/modul van; mekkora ezek mérete az őket alkotó elemek méretének arányában; mennyire strukturáltak; a kapcsolatok száma hogyan aránylik az őket a többi alhálóhoz/modulhoz kötő kapcsolatok számához; mennyire különböznek egymástól; mennyire tudnak önállóan létezni; kapcsolódásuk mennyire állandó és szükségszerű.

GYENGEKAPCSOLTSÁG

A gyenge kapcsolatok olyan kölcsönhatások, amelyeknek kicsi az affinitása, kicsi a valószínűsége és rövid ideig tartanak. Ugyanakkor ezek azok a kapcsolatok, amelyek a kisvilágság kialakulásához szükségesek. A hálózatokban az elemek nem egyformák, és a közöttük fennálló kapcsolatok is lehetnek erősek és gyengék egyaránt. A valós hálózatokban

nemcsak a kapcsolódási fokok, a térbeli megoszlás, az időbeli viselkedés, hanem a kapcsolatok erőssége is skálafüggetlen eloszlást mutat. Ez azt jelenti, hogy valós hálózatokban az erős kapcsolatok mellett mindig ott vannak a gyengék is, ráadásul a legtöbb hálózatban sokkal több gyenge kapcsolatot találunk, mint erőset. A gyenge kapcsolatok az egymásbaágyazottságot is „áthatják”. Ennek felső szintének a kialakulása minimum néhány kapcsolatot igényel az alhálózatok között. Viszont a hálózatok fejlődése nem lenne lehetséges állandóan és szorosan egymáshoz láncolt alhálózatokkal. Szoros összetartó kapcsolatok esetén a hálózat megmerevedik és fejlődésképtelen lesz. Ezt a gyenge kapcsolatok oldják fel. Csak annyira kötnek össze, amennyire az a magasabb hálózat kialakulásához szükséges, ugyanakkor szükség esetén a szétválást is megengedik, lehetővé teszik. „Összefoglalóan elmondható, hogy gyenge kapcsolatok szükségesek a kisvilágság kialakulásához, a skálafüggetlenség egyik következményei és nagy szerepet játszanak az egymásbaágyazottság kialakulásában is. A gyenge kapcsolatok a hálózatok általános és fontos elemei, ők adják a hálózatokon belüli kapcsolatok döntő többségét. Ha bármely olyan hálózati tulajdonságról beszélünk, amelyik magyarázza a hálózatok népszerűségét, egyszerre mind gyenge kapcsolatokról is beszélünk. A kettő egymástól nem elválasztható.” (Csermely, 2005. 60. o.)

STABILITÁS

A hálózatok stabilitása alapvetően két szinten értelmezhető. „A hálózat stabilitásának, azaz paraméterstabilitásának definíciója: Egy hálózat akkor stabil, ha az eredeti állapotának kismértékű megzavarása után a hálózat paraméterei újra közelítenek az eredeti állapotban mért paraméterek felé.” (Csermely, 2005. 112. o.) Komplex rendszerek esetében azonban szinte soha nem beszélhetünk tradicionális értelemben vett egyensúlyról, sokkal inkább robusztus viselkedésről, amely az eredeti paramétersereg (attraktor) felé tendál a rendszerre ható kismértékű zavar után. „A hálózat ellenállóképességű, ha meg tudja őrizni törzshálóját és perkolációját azáltal, hogy a legtöbb eleme változatlanul kapcsolatban marad egymással.” (Csermely, 2005. 112. o.) A hálózat stabilitásának ezen utóbbi szintjén már egyáltalán nem tartja meg az eredeti állapotát. Elhagyhatja az eredeti paramétereit és egy más egyensúlyi állapotba billenhet át, sőt, akár gyökeresen meg is változtathatja a felépítését. Előfordulhat, hogy a skálafüggetlen foksámeloszlásból egy csillaghálóból vagy random gráffá alakul át. Ha a hálózat megmarad hálózatnak, vagyis az elemei a külső behatások ellenére kapcsolatban maradnak egymással, akkor a hálózat ellenállóképességű volt.

KONTROLLÁLHATÓSÁG

A hálózatoknak a megismerése nem öncélú tevékenység. A hálózat jellemzőinek, alakulását befolyásoló tényezőinek a megismerése lehetőséget biztosíthat arra, hogy azokat meg tudjuk védeni, vagy akár irányítani, kontrollálni tudjuk. Egy autó teljes műszaki és elektronikai rendszerét gyakorlatilag néhány „alkatrészen” keresztül (kormány, gáz, fék, kuplung) irányítani tudjuk. Ha nem így lenne, nem tudnánk vezetni. Képtelenek lennénk egyszerre több száz „csomópontot” kezelni, és így vezetni az autót. Ha tudatosan építünk fel hálózatokat, akkor tudjuk úgy alakítani a kapcsolatok rendszerét, a csomópontokat, hogy a kontrollált, az irányíthatóságot is a céljainknak megfelelően hozzuk létre. Barabási Albert-László előadásaiban azt mondja, hogy a kontrollálás képessége a legjobb bizonyítéka annak, hogy teljes körűen megértettük a hálózatok természetét, működését. A kontrol elmélet számos matematikai eszközt kínál arra, hogy természetes és mesterséges rendszereket a kívánt állapotba jutassunk el, ugyanakkor a komplex, önszerveződő hálózatok irányításának kerete, módszere

még hiányoznak. A kontrollálhatóság kérdésében készült egy olyan tanulmány (Liu et al., 2011), amiben analitikus eszközrendszert dolgoztak ki egy tetszőleges, komplex, irányított hálózat alapján. Ebben azonosították a vezérlést lehetővé tevő csomópontokat, amelyek a rendszer teljes dinamikáját irányítani tudják. Ezeket az eszközöket több valódi hálózaton is kipróbálták, és arra a fontos következtetésre jutottak, hogy a vezérlő csomópontok száma leginkább a hálózat eloszlásának fokszámaival mutat összefüggést. Azt is bemutatták, hogy a ritka, szórványos, heterogén hálózatokat – amely tulajdonságok egyébként sok valódi komplex hálózatra jellemzőek – a legnehezebb kontrollálni, irányítani. A sűrű és homogén hálózatok irányítása ezzel szemben mindössze néhány vezérlő csomópont segítségével megvalósítható. Az is nagyon érdekes következtetése a tanulmánynak, hogy mind az önkényes, mind a valódi rendszerekben a vezérlő csomópontok kifejezetten nem a sok kapcsolattal rendelkező szereplői a hálózatoknak. Ez pedig azt is jelentheti, hogy a vezérlő szerep nem a kapcsolatok számától, hanem sokkal inkább a hálózati szerep, a kapcsolatrendszerben elfoglalt hely alapján alakul ki, válik lehetővé.

Mindezek felismerése ugyanakkor felveti az empirikus elemzés kérdéseit: miképpen ragadhatók meg, hogyan mérhetők az egyes gazdasági szereplők közötti kapcsolatok, milyen statisztikai eszközök állnak rendelkezésre a hálózati struktúrák elemzésére? A hálózati kapcsolatok és struktúrák empirikus vizsgálata tehát egyrészt a kapcsolati (relációs) információkon alapuló adatbázisok létrehozását, másrészt e kapcsolatok alkalmas statisztikai eszközökkel való elemzését igényli, amelyek egyelőre nem képezik szerves részét a közgazdászok és statisztikusok standard eszköztárának. (Sebestyén 2011)

5. Hálózat kutatás az orvostudományban

Ahogy a bevezetőben is olvasható, a hálózat kutatás szinte minden tudományterületen jelen van már. A tanulmányunkat meghatározó projekt szempontjából most az orvostudomány területére koncentrálna adunk kicsit bővebb betekintést. Az orvostudomány részterületein alkalmazott eljárásokat és témákat soroljuk fel, külön kitérve néhány, a társadalomtudományok szempontjából is jól értelmezhető kutatási eredményre.

A hálózat kutatást az orvostudományban is elkezdték felhasználni, de a terület fiatalsága okán a közlemények színvonala rendkívül széles spektrumon mozog. A 2000-es évek elején magas impakt faktorú folyóirat megjelent több tanulmány (például a dohányzással, elhízással kapcsolatos longitudinális elemzések) nagy szakmai vitát váltott ki, ami szintén a terület fiatalságát és kiforratlanságát támasztja alá. (Brys et al. 2012)

A hálózat kutatás nagyjából 5 évvel ezelőtt „robbant be” az orvostudományba. A Harvard-on mostanában alakult egy külön divízió 200 kutatóval felvértezve, akik kifejezetten orvosi tematikájú kutatásokon dolgoznak.

Az orvostudományon belül számos orvosi szakterület vonta be a kutatási eszköztárába a hálózatelemzést. Főbb területek:

- neurológiában az agyműködés vizsgálata;
- genetikában a betegségek asszociációs analízise és az RNS- és mRNS-szintű szabályozás hálózatos működése, a génhálózatok elemzése;
- epidemiológiában a járványterjedések elemzésére, különösen a szexuális úton terjedő betegségek elemzése;
- metabolikus hálózatok elemzése;

- sejttanyagcsere hálózatos elemzése;
- onkológiában a rák természetének megértésében és a metasztázisok valószínűségének kutatása;
- az elhízás „járványszerű” terjedésének vizsgálata a szociális hálózatokban;
- gyógyszerkutatásokban új molekulacsoportok lokalizálása.

JÁRVÁNYOK

A kisvilág gráfok felfedezésének egyik hatása a klasszikus járványterjedés újragondolása. Az a tény, hogy a kisvilág gráfoknak viszonylag kevés éle van az összes lehetségeshez képest, illetve, hogy jelentős sűrűsödések találhatóak bennük, arra utalhatna, hogy egy-egy vírus elterjedése korlátozott. Ugyanakkor a hálózati szereplők közötti kicsit átlagos távolságok miatt valójában gyorsan elérhet bárkit a vírus. Az a tény pedig, hogy kisvilág gráfok fokszámaának eloszlása a hatványtörvénnyel írható le, arra utal, hogy vannak az átlagostól nagyon eltérő, óriási fokszámu (sok kapcsolattal rendelkező) egyedek, és jobbra ők felelősek a járvány terjedéséért. A járványok kialakulásának elkerülése érdekében tehát olyan lépéseket kell tenni, amelyek ezeknek a központi egyedeknek az immunizációját eredményezi. Ez gyakorlati szempontból egy nagyon fontos következtetés, amit a hálózatok megfigyelése, leírása alapján lehetett levonni. (Brys et al. 2012) Amennyiben sikerül a vírus elterjedését egy bizonyos ideig megfékezni, akkor az magától el fog pusztulni anélkül, hogy „kitombolhatta” volna magát. A vírus terjedésének sajátosságaiból pedig viszonylag pontosan meghatározható az az idő, ami ehhez ténylegesen szükséges, és a terjedés sajátosságainak ismeretében a járvány kialakulása elkerülhető. Az Amerikai Egyesült Államokban már egészen „hétköznapi” gyakorlati jelentősége is van a hálózat kutatás eredményeinek. Az influenza terjedésének vizsgálati eredményei alapján jó közelítést tudnak adni arra, hogy földrajzilag hogyan fog kinézni a vírus megjelenési, előfordulási gyakorisága. Ezen információ pedig alapját képezi az influenza elleni vakcina területi elosztásának tervezését, kivitelezését. Ezzel optimalizálni tudják az elosztás hatékonyságát mind térben, mind időben.

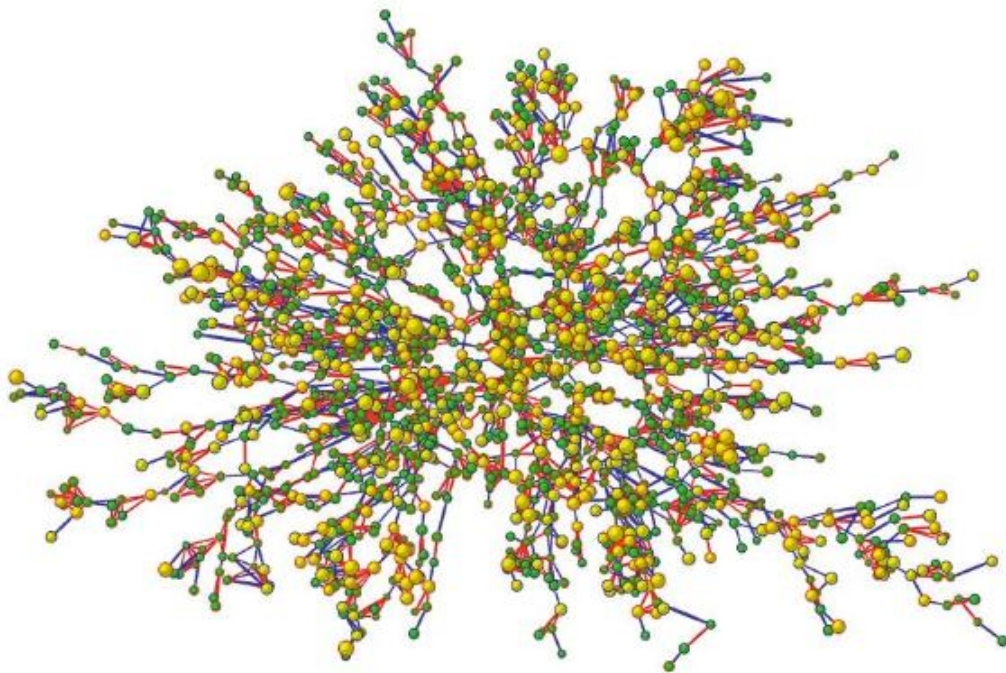
ELHÍZÁS, DOHÁNYZÁS ÉS BOLDOGSÁG HÁLÓZATI JELLEMZŐI

Az elhízás természetének, „elterjedésének” vizsgálatáról 2007-ben jelent meg egy rendkívül gazdag adattartalommal bíró kutatás eredményeit bemutató tanulmány (Christakis – Fowler, 2007). Az 1990-es évektől kezdve az elhízottak aránya folyamatosan és jelentős mértékben megnövekedett az Amerikai Egyesült Államokban. A felnőtt népesség kétharmada túlsúlyosnak számít. A lehetséges okok között felmerültek olyan tényezők, mint a társadalmi változások, amelyek következtében a fizikai aktivitás háttérbe szorult, ugyanakkor az evés pedig fontosabbá és öncélúbbá vált. Azok a tények, hogy az elhízás ilyen mértékű elterjedése nem indokolható genetikai hajlammal, illetve hogy gyakorlatilag minden típusú társadalmi csoportot érint, annak a hipotézisnek a felállítására ad lehetőséget, hogy a magyarázatot szociális és környezeti tényezőkben kell keresni. Innen jutottak el addig a felismerésig, hogy hálózat kutatási eszközökkel is érdemes lenne megvizsgálni a jelenség hátterét. Az elhízásra tekinthetünk úgy, mint „egyéni” döntésre, de nyilvánvalóan szerepet játszhat ebben az a tény, hogy bizonyos szociális hálózat elemeiként élünk. A velünk kapcsolatban álló elemek viselkedése, látásmódja sokban befolyásolhatja ezeket az „egyéni” döntéseket. Gondoljunk csak arra, hogy ha a környezetünkben jellemzően elhízott emberek vannak, akkor egészen más képünk lehet arról, hogy ki számít elhízottnak. Ebben az amerikai kutatásban 12 067 ember vett

részt, akiket 32 éven keresztül (1971-2003) figyeltek meg. A kutatásban nagyon sokféle szempontot figyelembe vette, többféle módszert felhasználtak:

- klasztereket alakítottak ki az elhízott résztvevőkből;
- longitudinális logisztikus regressziós modellekkel próbálták meg leírni az elhízás kialakulását;
- a súlygyarapodással összefüggő tényezőket vizsgálták (sztochasztikus kapcsolatok keresésével);
- a súlygyarapodást a szociális kapcsolatok szerint is vizsgálták (barátok, házastársak, szomszédok vonatkozásában);
- figyelték a következő tényezők hatását: nem, dohányzási szokások, a kapcsolatban résztvevők földrajzi távolsága, életkor, iskolai végzettség, stb..

9. ábra: A résztvevők egy alcsoportjának hálózati ábrája



A 9. ábrán a színeknek és a szereplők (körök) méretének is jelentése van. A körök szegélye a nemet jelzi (piros – nő, kék – férfi), a körök színe az elhízottság tényét (sárga – elhízott, zöld – nem elhízott), a körök mérete a testtömeg-indexszel (BMI – body mass index) arányos, a vonalak színe pedig a kapcsolat jellegét (kékes – barátság vagy házasság, narancssárga – egyéb rokoni kapcsolat) mutatja. Azt szeretnék volna megvizsgálni, hogy a kutatásban résztvevők hálózatában az elhízás mennyire mutat „hálózatosodási” jeleket. Ennek kimutatására mesterségesen létrehoztak (szimuláltak) egy olyan hálózatot ugyanazokkal a tipológiai jellemzőkkel, illetve ugyanolyan elhízotti arányszámokkal mint a valóságban vizsgált hálózat, de annyi különbséggel, hogy a „csomópontokhoz” tartozó elhízási esélyt véletlenszerűen „állították be”. Ezt véletlen BMI hálózatnak nevezték el. Ha a hálózatosodás fennáll, akkor ez úgy mutatkozik meg a vizsgálatban, hogy annak a valószínűsége, hogy egy „alter” elhízik, annak tudatában, hogy az „ego” elhízott, magasabb kell legyen a hálózatban, mint a véletlen BMI hálózatban. Az eredmények azt mutatták, hogy elhízás bekövetkezése jelentős mértékben magasabb azokban az esetekben, ha a szereplőnek olyan más elemekkel van kapcsolata, akik elhízottak. Ráadásul a hatás még az elhízott személytől számított kapcsolat második és

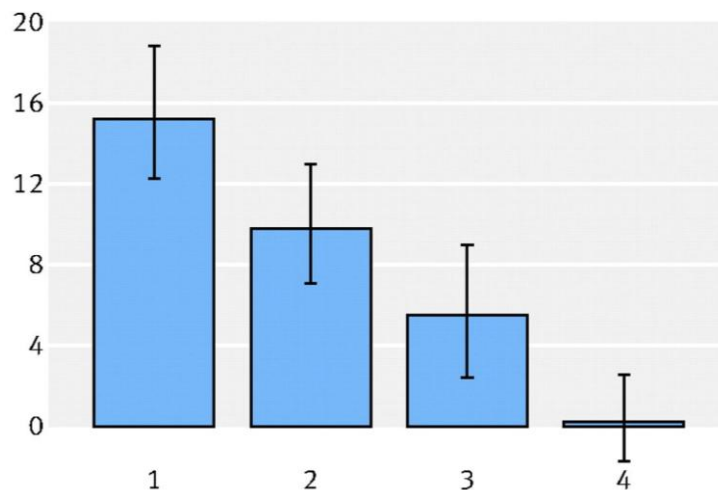
harmadik lépésében is nagyon valószínűséget (előfordulási arányt) generált, mint a véletlen BMI hálózatban. A hatás a negyedik szintű kapcsolatra „fogyott el”.

Ugyanezen a mintasokaságon hasonló vizsgálatokat végeztek a dohányzási szokások alakulásának elemzésére is. (Christakis – Fowler, 2008a) Azt vizsgálták, hogyan terjed a dohányzási szokás személyről-személyre, és milyen mértékben, milyen csoportokban jellemző, hogy együttesen szoknak le a dohányzástól. Az elemzések során azt találták, hogy a teljes sokaságon belül a dohányzás visszaszorulása ellenére a dohányzók klaszterei időben állandóak maradtak. Ez arra enged következtetni, hogy emberek egész csoportjai „összehangoltan” szoktak le erről a káros szenvedélyről. Az is kiderült, hogy a dohányosok fokozottabb jelenléte a hálózatok „peremén” érhető tetten. Számszerű eredmények születtek arra vonatkozóan, hogy a közvetlen környezetünkben bekövetkező leszokás mennyivel növeli a saját leszokási esélyeinket. Ezek a valószínűségek a személyes kapcsolatok mentén bizonyulnak magasabbnak (házastárs, barátság, munkatársak), ugyanakkor már egy szomszédi viszony nem mutat „megerősítő” hatást. Az iskolai végzettséggel is összefüggést találtak. Magasabbban képzett baráti körök jobban hatottak egymásra a leszokás tekintetében, mint az alacsonyabb végzettségűek.

Az ilyen jellegű kutatások és eredmények segítenek a jelenségek alakulásának megértésében, és ezáltal az esetleges megelőzési, beavatkozási stratégiák kialakításában is.

A fent idézett szerzőpáros azt az érdekes kérdést is megvizsgálta, hogy a boldogság terjedésének vannak-e hálózatos formái. Az derült ki a kutatásból, hogy a boldog és boldogtalan emberek csoportjai a hálózaton belül jóval nagyobbak, mintha csak „véletlenül” alakulnának ki. A hálózatkutatás eszközeivel meg lehet mérni azt a valószínűséget, hogy az ego boldog, feltéve ha az alter is az. Ezt egy mesterségesen létrehozott hálózatból (ahol a „boldogság” véletlenszerűen van elosztva a csomópontok között) számított eredményekkel összevetve kiderül, hogy vannak-e hálózati hatások vagy sem. A 10. ábra x tengelye az alter távolságát méri, az y tengely pedig azt mutatja, hogy mennyivel nő az ego esélye a boldogságra, feltéve, hogy az alter is boldog. A hatás a kapcsolatok első szinten, vagyis a közvetlen kapcsolatok mentén a legerősebb. Ugyanakkor nagyon fontos eredmény, hogy szignifikáns (nullánál magasabb) hatás mutatkozik még a harmadik kapcsolati szinten is. (Christakis – Fowler, 2008b)

10. ábra: Távolság és boldogság a hálózatban



A modern rendszerbiológia megjelenésével nyilvánvalóvá vált, hogy a fehérjék közötti összetett kölcsönhatások, valamint a sejtek közötti kommunikációs és szabályozási rendszer is jól megragadható a hálózat kutatási eszközrendszerével. A sejtbiológiában például a metabolikus kaszkádok felfedezése világított rá, hogy számos molekula nem csak egyfajta módon (útvonalon) képződhet. A fehérjehálózatok megismerése a legbiztosabb út a betegségek megismeréséhez, és ezáltal a betegségek gyógymódjainak a sikeres kidolgozásához. Az orvosi kutatások elsősorban erre koncentrálnak. A téma fontosságát az is jelzi, hogy az életünk bármely területének a hálózatai csak néhány százalékban azonosítottak, ugyanakkor a fehérjehálózatok már 20 százalékban feltérképezésre kerültek.

ŐSSEJTEK NYOMÁBAN

2012-ben az orvosi Nobel-díjat egy olyan tudospáros kapta (John B. Gurdon és Jamanaka Sinja), akik a hálózat kutatási módszereket is felhasználva jutottak el egy nagyon fontos felfedezéshez. Korábban az orvostudományban úgy gondolták, hogy a differenciálódott sejtek (vagyis amelyek valamilyen szöveti sejté, izom-, máj-, kötőszöveti sejté fejlődtek ki) végleg abban az állapotukban maradnak, és hogy ez a fajta differenciálódás egyirányú, megfordíthatatlan folyamat. Úgy tűnt, hogy valódi őssejtek, amelyek többféle sejt típusra képesek fejlődni, csak az embriókban találhatók, illetve korlátozott fajtájúak a felnőtt szervezetben is megmaradnak a bőrben, bélben, csontvelőben, ahol a sejtek nagymértékű pótlására van szükség. Már 1962-ben John B. Gurdonnak sikerült békák bélbolyhaiból vett, differenciált epitélium-sejt sejtmagját egy sejtmagirtott békapetébe átvinnie, és a petéből egészséges ebihal fejlődött ki. Ezzel megingatta a korábbi nézeteket, bebizonyította, hogy legalábbis a sejtmagban a differenciálódás során végbemenő epigenetikus (nem DNS-szintű, de a génkifejeződést szabályozó) változások visszafordíthatóak. Jamanaka Sinja úgy gondolta, hogy az embrionális őssejtek állapotát a gének bekapcsolását szabályozó bizonyos faktorok tartják fent. Kiválasztott 24 ilyen, az őssejtekben aktív faktort és génjüket géntechnológiai módszerrel differenciálódott, szomatikus sejtekbe vitte be. Ennek eredményeképpen néhány sejt kolónia valóban az őssejtekhez hasonlóan kezdett el viselkedni. Ezután megpróbálta leszűkíteni a jelöltek számát és hosszas munkával végül megállapította, hogy négy faktor (*Myc*, *Oct3/4*, *Sox2* és *Klf4*) elegendő ahhoz, hogy az egér kifejlődött sejtjeit őssejteké alakítsa. Ezeket a sejteket indukált pluripotens őssejteknek (angol rövidítéssel iPS) nevezte el. A felfedezés terápiás alkalmazásának még vannak korlátai, de jelentősége mégis alapvető és teljesen új kutatási területeket nyitott meg.

Más szemszögből közelítve a legtöbb élettani folyamat sematikus rendszerszemléleti modellje folyamatvezéreltnek (kondicionáltnak) tűnik. Azaz némileg leegyszerűsítve: „C” aktor akkor és csak akkor aktiválódik „D” módon, ha „A” aktor kapcsolatba kerül „B” aktoral. A jelenlegi hálózatelemzés még csak ritkán használ kondicionált kapcsolatokat, azaz olyanokat, amelyek csak akkor jönnek létre, ha valamilyen más feltétel is teljesül. A kondicionált kapcsolatok részletes elemzése még fontos kihívást jelent a kutatók számára.

VÉLEMÉNYVEZÉREK A KLINIKAI GYAKORLATBAN

A marketingben a közösségek meghatározásán túl az egyik divatos irány a véleményvezérek és a feltörekvő csillagoknak (up-rising-stars) a detektálása. Közel egy tucat módszert dolgoztak ki a véleményvezérek azonosítására, kialakítására. (hírességek

felhasználása, önként jelentkezők keresése, csoport általi kiválasztás, közösségen belüli szakértők által történő kiválasztás, hólabda módszer, közösségi hálózaton alapuló szociometria, stb.) (Valente-Pumpuang, 2007). Az eredmények értelmezése nehéz, a véleményvezérek erősen kontextusfüggőek, és a szakemberek szerint jelentősen más dinamika érezhető a hálózat növekvő, stagnáló és csökkenő időszakában. Az ismert nehézségek ellenére néhány éve a medicinában is megjelent a „klinikai véleményvezető” (Clinical Opinion Leader), amely kulcsfogalomává vált a klinikai közegben. A kutatásban először klasztereket képeztek az alanyokból (innovátorok, korai adaptálók, korai többség, késői többség, lemaradók). Itt elsősorban informális oktatóról, mentorról beszélhetünk, aki jelentős számú kollégára van hatással. A helyi, informális véleményvezetőknek fontos szerepe van abban, hogy az orvostudomány innovációi, fejlesztései mihamarabb elterjedjenek a gyakorlatban is. Azok az egyének lehetnek jó klinikai véleményvezérek, akik mások szerint is fontos központjai az informális információknak. Ők elsősorban a korai adaptálói körből kerülnek ki. Tulajdonságaik szerint közösség egy „átlagos” tagjának felelnek meg. Ugyanakkor a döntéseikre felnéznek, és az ő választásaik nyomán bevezetett módszerek elterjedése hirtelen felgyorsul. Néhány kísérlet eredménye szerint az ilyen mentorok kórházon belüli lokalizálása fontos tényező lehet a klinikumok minőségbiztosítási folyamataiban (Borbas et al., 2000).

A rendszerelméletből régóta következik, hogy a jelenségek szüntelen kölcsönhatása hálózatos módon is értelmezhető. Megmutatkoztak az ehhez eszközt adó hálózatelemzés előnyei: számos multidiszciplináris kutatást indikált, és bizonyította, hogy a mennyiségi és minőségi szabályszerűségek mellett a gráfelmélet és a kombinatorika segítségével megragadhatóak új jelenségek és szabályszerűségek a medicinában is. A molekuláris biológiában ez különösen tetten érhető. Az elkövetkező években – a megfelelő kutatási eljárásrendek kialakulása után – várhatóan számos újabb, hálózatelemzéssel kimutatott eredményről fogunk értesülni a medicinából és a határterületeiről is.

Jelenleg leginkább leíró, modellező szándékkal és eredménnyel alkalmazható a hálózatelemzés, de már mutatkoznak olyan megközelítések jelei is, amelyek bizonyos szintű előrejelzések készítésére is alkalmasak.

6. Összegzés

A tanulmány célja az volt, hogy egy rövid összefoglalót adjon a hálózat kutatás kialakulásának háttéréről, a felhasznált módszerekről és az alkalmazási területekről. Ennek megfelelően a 2. fejezetben röviden áttekintettük a hálózat kutatás kialakulásának történetét a gráfelméleten és a szociológiai felhasználáson keresztül. A hálózat kutatás alapfogalmainak (reláció, kapcsolat, gráf, szociomátrix, szociogram, diád, multiplexitás, inerakcionális és morfológiai jellemzők, irányítottság, stb.) bemutatása mellett az adatgyűjtési módszerek (kérdőíves megkérdezés, interjú, kísérlet) és a főbb mutatók (fokszám, sűrűség, centralitás, presztizs, ekvivalencia) leírását tartalmazza a 3. fejezet. A 4. fejezetben részletesebben kitérünk a hálózat kutatás sajátos fogalmi rendszerében használt kifejezések jelentésére, háttérére (kisvilág, skálafüggetlenség, egymásbaágyazottság, gyengekapcsoltság, stabilitás). Az 5. fejezetben pedig felsorolásszerűen adunk képet a hálózat kutatás orvostudományba átszivárgott alkalmazási területeiről, módozatairól, kicsit részletesebben kitérve néhány érdekesebb, a társadalomstatisztika számára is jól értelmezhető kutatásra (elhízás, dohányzási szokások, boldogság hálózatosodása).

A hálózatkutatás rendkívül széles körű eszközrendszerrel, és nagyon sajátos „látásmóddal” rendelkező interdiszciplináris tudomány. Éppen az interdiszciplináris jellege okán a módszertan fejlődése akkor kapta a legnagyobb lendületet, amikor a különböző tudományterületek (úgy, mint a fizika, a szociológia, a kombinatorika) találkoztak és összefogtak, és elindult egyfajta közös gondolkodás. Mára a felhasználási területek száma szinte végtelen. Az élet minden területén találhatunk hálózatokat, kisvilágokat, skálafüggetlen jelenségeket. Az ökológiában a tápláléklánc topológiai jellegzetességei, a biokémiában a fehérje-fehérje hálózatok a nyelvészetben a szóasszociációs hálózatok, a szociológiában és szociálpszichológiába pedig az emberi kapcsolatok hálózata, a tudományometriában a citációs hálózatok, mérnöki tudományokban az elektromos hálózatok, az úthálózatok, társadalomtudományokban a szabadalmi együttműködési hálózatok struktúrájának, vagy a vélemények, beállítódások és a viselkedés társadalmi méretű változásainak elemzésére használják a hálózatelemzés adta lehetőségeket.

Több tudományterületen jelenleg még inkább csak leíró, modellező szándékkal és eredménnyel alkalmazható a hálózatelemzés, de már mutatkoznak olyan megközelítések jelei is, amelyek bizonyos szintű előrejelzések készítésére is alkalmasak. A hálózatelmélet és hálózatelemzés, kiterjedt, sok szempontból a gráfelmélet eredményeire építő matematikai apparátussal rendelkezik, a hálózati struktúrák leíró elemzése során felhasznált mutatószámok azonban erre még viszonylag korlátozott mértékben támaszkodnak. A matematikai apparátus főként a hálózatelméletre és a hálózati modellekre jellemző. Ezeknek a bonyolultabb, többféle következtetés levonására alkalmas módszerek elterjedésére lehet a közeljövőben számítani.

7. Irodalomjegyzék

Barabási, A.-L. (2010): *Villanások – a jövő kiszámítható*. Nyitott Könyvműhely. Budapest 335 o.

Barabási, A.-L. (2003): *Behálózva: A hálózatok új tudománya: hogyan kapcsolódik minden egymáshoz, és mit jelent ez a tudományban, az üzleti és a mindennapi életben* Magyar Könyvklub. Budapest 367 o.

Barabási, A.-L. – Albert, R. – Jeong, H. (2000): *Scale-free Characteristics of Random Networks: The Topology of the World Wide Web*. Physica A. 281/1–4. 69–77. o.

Borbas, C. – Morris, N. – McLaughlin, B. – Asinger, R. – Gobel, F. (2000): *Role of Clinical Opinion Leaders in Guideline Implementation and Quality Improvement*. Chest 118 (Suppl 2) 24S-32S.

Brys, Z. – Buda, B. – Pluhár, A. (2012): *Hálózat kutatás a medicinában és határterületein*. LAM (LEGE ARTIS MEDICINÆ) 22 (6-7) 445-449. o.

Buda B. (2011): *Connected Networks*. LAM (LEGE ARTIS MEDICINÆ) 21 (5) 402-403. o.

Chandrasekhar, A. G. (2015): *Econometrics of Network Formation*. Stanford University, 50 o.

Christakis, N. A. (2010): *Kapcsolatok hálójában: mire képesek a közösségi hálózatok, és hogyan alakítják sorsunkat?* Typotex. Budapest, 376 o.

Christakis, N. A. – Fowler, J. H. (2008a): *The Collective Dynamics of Smoking in a Large Social Network*. The New England Journal of Medicine 358: 2249-2258. o.

Christakis, N. A. – Fowler, J. H. (2008b): *Dynamic spread of habbiness in a alarge social network: longitudinal analysis over 20 years in the Framingham Heart Study*. BMJ 337: a2338

Christakis, N. A. – Fowler, J. H. (2007): *The Spread of Obesity in a Large Social Network over 32 Years*. The New England Journal of Medicine 357: 370-379. o.

Csermely, P. (2005): *A rejtett hálózatok ereje – Mi segíti a világ stabilitását?* Vince Kiadó. Budapest 376 o.

Easley, D. – Kleinberg, J. (2010): *Networks, Crowds and Markets: Reasoning about a Highly Connected World*. Cambridge University Press 819 o.

Euler, L. (1741): *Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis* Commentarii academiae scientiarum. Petropolitanae 8 128-140. o.

Kürtösi, Zs. (2005): *A társadalmi kapcsolatháló-elemzés módszertani alapjai*. In: Letenyei László (szerk.): *Településkutatás szöveggyűjtemény*. Budapest: Ráció Kiadó 663-684. o.

Liu, Y.-Y. – Slotine, J.-J. – Barabási, A.-L. (2011): *Controllability of complex networks*. Nature 473, 167-173. o.

Sebestyén, T. (2011): *Hálózatelemzés a tudástranszferek vizsgálatában – régiók közötti tudáshálózatok struktúrájának alakulása Európában*. Statisztikai Szemle. 89/6. 667-697. o.

Szántó, Z. – Tóth, I. Gy. (1993): *A társadalmi hálózatok elemzése*. AULA, 15. évf. 1. sz. 30-55. o.

Takács, K. (2011): *Társadalmi kapcsolathálózatok elemzése*. Budapesti Corvinus Egyetem 309 o.

Valente, TW – Pumpuang, P. (2007): *Identifying Opinion Leaders To Promote Behavior Change*. Health Education & Behaviour. 34(6) 881-896. o.

Wasserman, S. – Faust, K. (1994): *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge University Press 825 o.

Watts, D. J. (1999): *Small worlds. the dynamics of networks between order and randomness*. Princetown University Press 288 o.