BİLİMSEL ARAŞTIRMALARDA TEKRAR EDİLEBİLİRLİK SORUNLARI VE AÇIK BİLİM

Replication crisis in scientific studies and open science

Osman HAYRAN[1]

Özet

Özenli çalışma ve yoğun çaba gerektiren bilimsel araştırma süreçleri ile araştırma sonuçlarının saygın dergilerde yayınlanması bir yandan bilimin bir yandan da bilim insanının gelişmesine katkı sağlamaktadır. Bilişim ve bilgi teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak bilimsel çalışmalarda ve yayınlarda da hızlı bir artış olmaktadır. Ne var ki bu hızlı artış sırasında önemli yöntem hatalarına sahip pek çok araştırma sonucunun saygın bilim dergilerinde yayın olarak yer alabildiği, kısa sürede çok sayıda atıf alabildiği görülmektedir. Bu sorunu ifade etmek amacıyla kullanılan "tekrar edilebilirlik krizi" tartışmaları bilimsel çalışma ve yayınlarda açıklık, şeffaflık özelliklerinin önkoşul olması gerektiğini göstermektedir. Bu amaçla her türlü bilimsel araştırma için ön-kayıt uygulamasının bir kural olması, hakem değerlendirmelerinin sadece yayın aşamasında değil araştırmanın her aşamasında yapılabilmesi hatta kamusal değerlendirmenin mümkün olması, bilimsel saygınlığın ve bilime güvenin korunması için "açık bilim" uygulamalarının yaygınlaşması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Açık bilim, meta-bilim, tekrar edilebilirlik.

Abstract

Scientific research processes that require diligent work and intense effort and the publication of research results in reputable journals contribute to the development of science on the one hand and scientists on the other. In parallel with the developments in information and information technologies, there is a rapid increase in scientific studies and publications. However, during this rapid increase, it is observed that many research results with significant methodological errors can be published in reputable scientific journals and receive many citations in a short time. The "replication crisis" discussions used to express this problem show that openness and transparency should be a prerequisite for scientific studies and publications. For this purpose, pre-registration should be a rule for all kinds of scientific research, referee evaluations should be possible not only at the publication stage but also at every stage of the research, even public evaluation should be possible, and "open science" practices should become widespread in order to protect scientific prestige and trust in science.

Keywords: Open science, meta-science, reproducibility.

1- İstanbul Medipol Üniversitesi, Halk Sağlığı Ana Bilim Dalı. İstanbul, Türkiye

Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Prof. Dr. Osman HAYRAN
e-posta / e-mail: ohayran@gmail.com
Geliş Tarihi / Received: 12.09.2023, **Kabul Tarihi / Accepted:** 26.09.2023

ORCID: Osman HAYRAN: 0000-0002-9994-5033

Nasıl Atıf Yaparım / How to Cite: *Hayran O. Bilimsel araştırmalarda tekrar edilebilirlik sorunları ve açık bilim. ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi. 2023;8(3):375-81.*

© Copyright ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi. 2023;8(3)

Giriş

Çok yayın yapmak, çok atıf almış olmak bilimsellik göstergesi midir? Elimizde daha iyi kriterler bulunmadığı sürece bu soruya verilecek en kısa yanıt ne yazık ki "evet" olacaktır. Yapılan yayın miktarı ve bu yayınlara alınan atıf sayısı gerek akademisyenlerin yükseltilme ve değerlendirilmesinde gerekse üniversitelerin değerlendirilme ve bilimsel sıralamasında aranan önemli kriterlerin başında gelmektedir. Halen yaygın olan yaklaşım bu olsa da bilimselliğin bunlardan çok farklı bir anlam taşıdığı bu işlerle uğraşanların bildiği bir gerçektir.

Bilimsel çalışmaların sonuçlarını yayınlamak, paylaşmak, başkalarına duyurmak ve bu yayınlara atıf almak bilim insanlarının en belirgin amaçları arasında yer alması doğaldır. Yayın, bilim insanının emeklerinin bir çıktısı bir ürünü, bir anlamda kazancıdır, varlığıdır. Alınan atıflar da takdir görmenin işareti, ödülüdür. Başka bir deyişle bilim insanı için yayınlar vitrin atıflar ise aldığı alkışlardır. Yayın yapmanın akademik yükselmeler için bir ön koşul olmasının ötesinde bilim insanlarının iş ve yaşam doyumlarını arttırıcı, zenginleştirici etkileri vardır. Ne var ki hazırlanan yazıların saygın bilim dergilerinde yayınlanması uzun bir süreç ve yoğun emek gerektiren zahmetli bir iştir.

Yazının konusundan başlayarak yazıya konu olan araştırma yöntemlerinin uygunluğu, geçerliliği ve tekrar edilebilirliği; bulguların özetlenme, sunum ve ifade ediliş biçimi; tartışmaların dayandığı kaynakların yeterliliği ve geçerliliği, önerilerin bulgularla uyumu ve kaynakların gösterim şekli gibi çok sayıda özen gerektiren konu bulunmaktadır. Bunlara ek olarak yazarın makalesinin dergi tarafından belirtilen format uygun şekilde hazırlanmış olması gereklidir.

Yayın için gönderilen makalenin önce dergi editörleri tarafından dergiye uygunluğunun değerlendirilmesi daha sonra da hakemlere gönderilerek bilimsel niteliği konusunda görüş alınması gibi farklı süreçler ve süzgeçler söz konusudur. Bu süreçlerin başarı ile tamamlanması ve yazının yayınlanma için "kabul" alması gerekir. Özellikle etki faktörü yüksek olan bilim dergilerine yayın için gönderilen makalelerin çok olması nedeniyle doğal olarak bu tür dergilerin kabul oranı düşük olmakta ve pek çok makale reddedilmektedir.

Kısaca özetlemeye çalıştığım bu yayın macerası her bilim insanının ve akademisyenin sıkça deneyimlediği ve iyi bildiği süreçlerdir. Bu süreçlerin bir de az bilinen, örtük kalan yanı vardır ki asıl onun üzerinde durmak gerekir.

Ticari amaçlarla ortaya çıkan ve para karşılığında makale yayınlayan "yağmacı" dergiler ile yayın hayatına yeni başladığı için henüz herhangi bir uluslararası dizin tarafından taranmayan dergilerde makale yayınlamak görece daha kolay olsa da çok tercih edilen bir durum değildir. O nedenle bunlara ilişkin kalite sorunlara değinmek başka bir yazı konusudur.

Burada söz konusu olan uluslararası dizinlerde yer alan, etki faktörü yüksek olduğu için saygın ve güvenilir kabul edilen dergilerdir. Bu dergilerde yayınlanan araştırma makalelerinin hiç de sanıldığı kadar kusursuz olmadığı, editör ve hakem süzgeçlerinin çok geçirgen olabildiği ve makale değerlendirme süreçlerinin bazı durumlarda inanılmaz biçimde hızlı işlediği görülmektedir.

Tekrar edilebilirlik sorunu ve bilimsel yetkinlik

Son yıllarda yaygınlaşan **meta-bilim** araştırmalarının bulgularına göre bilimsel yayınların önemli bir kısmında **tekrar edilebilirlik sorunu** bulunmaktadır (1, 2). **Seçici raporlama, istatistiksel fetişizm** ve **tekrarlanması mümkün olmayan iş akışları** şeklinde ortaya çıkan bu sorunun önce sosyal bilimler araştırmalarında daha sonra sağlık bilimlerinde yaygın olduğu dikkati çekmiş ve son olarak da epidemiyolojik araştırmalardaki varlığı tartışılmaya başlamıştır (3).

Aslında bilimsel araştırmalardaki nitelik sorunlarının tartışılması her dönemin konusu olup tekrar edilebilirlik sorununun da hayli uzun bir geçmişi bulunmaktadır. İlk kez 1966 yılında yapılan kapsamlı bir çalışmada saygın tıp dergilerinde yayınlanmış 295 makalenin istatistik yöntemleri

incelendiğinde bunların %73'ünde yapılan yorumların, varılan sonuçların doğru olmadığı görülmüştür (4). Yapılan pek çok araştırmada varılan sonuçların başlangıçta planlanan amaçları, kurulan hipotezleri desteklemediği halde zorlama yorumlarla desteklenmeye çalışıldığının görülmesi, yöntemlerin başkalarınca tekrarlanmaya elverişli netlikte olmadığının dikkati çekmesi üzerine tekrar edilebilirlik sorunu ya da **"tekrar edilebilirlik krizi"** gündeme gelmiştir (1). Geçen süre içerisinde bu tür sorunların özellikle sağlık bilimleri ile **"yumuşak bilimler"** olarak bilinen sosyal bilimler alanında yoğunlaştığı anlaşılmıştır. Bunları denetlemek amacıyla çeşitli girişimler, düzenlemeler sonucu CONSORT, EQUATOR Network gibi oluşumlar ve nihayet meta-bilim ortaya çıkmıştır.

Meta-bilim, diğer adlarıyla Meta-Araştırma ya da Kanıta-Dayalı Araştırma, **"bilimin bilimi"** ya da **"araştırmaların araştırılması"** demektir. Başka bir deyişle **"bilime kuş bakışı bakmak"** anlamına gelmektedir (5). Bilişim teknolojilerinin gelişimi sayesinde daha önce dikkati çekmeyen ve yayınladıktan çok sonra doğruluğu tartışma konusu olabilen araştırma yöntemleri ve sonuçlarının artık yayınlandıkları anda sorgulanabilir hale gelmiş olması bu alandaki çalışmaları kolaylaştırmıştır.

Bir grup bilim insanı tarafından hazırlanarak 2017 yılında Nature dergisinde yayınlanan **"tekrarlanabilir, sınanabilir bilim için manifesto"** isimli belge meta-bilimin gelişimi açısından önemli bir adımdır (2). Konunun önemini farkeden bazı üniversitelerde ve araştırma kuruluşlarında meta-bilim, meta-araştırma bölümleri, merkezleri kurulmuştur. Stanford üniversitesinde bulunan METRICS isimli meta-araştırma inovasyon merkezi (https://metrics.stanford.edu/research), Fetzer Franklin Vakfı tarafından kurulan meta-bilim merkezi (https://metascience.com), bağımsız bir kuruluş olarak ortaya çıkan Açık Bilim Merkezi (https://www.cos.io) bunlardan bazılarıdır. Bilimsel araştırma yöntemleri ve yayın ilkelerinde açıklık, şeffaflık ve tekrar edilebilirlik meta-bilimin başlıca faaliyet alanları arasında yer almaktadır.

Scopus veri tabanında 2000-2016 yılları arasını kapsayan zaman diliminde yapılan bir taramada 9000 kişinin yılda 72'den fazla yayın yaptığı (yani her beş günde bir yayın) saptanmış, çeşitli nedenlerden dolayı elenen yazarlardan sonra 265 yazarın aşırı üretken (hiperprolifik) nitelikte olduğu görülerek bunları kapsayan bir analiz ve anket çalışması yapılmıştır (6). Aşırı üretken yazarların yarıdan fazlasının Tıp veya Sağlık Bilimleri alanından, en çok ABD, Almanya ve Japonya'dan, genellikle epidemiyoloji alanından ve kohort çalışmalarından oldukları görülmüştür. Sadece 2016 yılındaki aşırı üretken 81 yazarın ancak üçte birinin Uluslararası Tıp Dergi Editörler Komitesinin belirlediği Vancouver kriterlerinin dördünü de yerine getirdiği saptanmış olması üzerinde durulmaya değer bir bulgudur.

Yakın zamanda yayınlanan bir meta-bilim analizi konuyu daha da ilginç hale getirmektedir. Bu analizde yüksek etki faktörlü çeşitli tıp ve genel bilim dergilerinde 200'den fazla yayını bulunan kişilerin sistematik haritalaması yapılmış, 700'den fazla yayını olduğu görülen yazarların ise ayrıntılı incelemesi gerçekleştirilmiştir. (7)

Bu dergilerde 700'den fazla yayını olan kişilerin ağırlıklı olarak bilim camiası dışından oldukları, sadece 3 tanesinin doktora unvanı bulunduğu (oşinografi, farmakoloji ve organik kimya alanında) fakat bunların yayınlarının da unvan aldıkları alanla ilgili olmadığı, 7'sinin gazetecilik alanında yüksek lisans yaptığı, 2 tanesinin de tıp doktoru olduğu görülmüştür. Bu yazarların tüm yayınlarının hemen hemen aynı dergilerde yer aldığı, başka dergilerde neredeyse hiç yayınlarının bulunmadığı ve birbirinden çok farklı konularda yazdıkları dikkati çekmiştir. Nature, Science ve BMJ araştırmacı olmayan bu yazarların yayınlarının en sık yer aldığı dergilerdir.

Yayın yaptıkları dergilerin standart bir kuralı olmasına karşın önemli bir kısmının yayınlarında "çıkar çatışması bulunmadığına" ilişkin bilginin girilmemiş olması bir başka ilginç noktadır.

Bunlar arasından 2020-2022 yıllarındaki yayınlarına 100'den fazla atıf yapılmış olan makaleler ayrıca değerlendirildiğinde bu yayınların sahibi 25 yazardan 13'ünün herhangi bir yüksek lisans derecesinin bile olmadığı anlaşılmıştır. Bu

yazarlar genellikle bilim gazeteciliği alanından kişilerdir. Bilim gazeteciliği bilimsel konuların sıradan insana anlaşılır biçimde iletilmesi anlamında önemli ve gerekli bir alandır. Hatta bilim dışı söylentilerin yoğunlaştığı dönemlerde savunuculuk yapma gibi önemli bir işlevi de söz konusudur. Ancak, bu alandaki uzmanların bilim dergilerinde bilim insanlarının önüne geçecek kadar çok yayın yapmış olmaları ve atıf almaları şaşırtıcıdır.

Bu yazarların güncel ve haber değeri de olan konulara yoğunlaşmaları nedeniyle yazılarının hakem süzgecinden geçmeden akademisyen yazarların yazılarından daha kısa sürede yayınlanabilir olması bir ölçüde anlaşılabilir bir durumdur. Bunun doğal sonucu olarak kamuoyu oluşturma, bilgiyi yayma, toplumu ve politikaları yönlendirme anlamında bilim insanlarından daha etkili bir konuma gelmelerini de normal karşılamak mümkündür. Ancak, yazdıkları yazıların bilimsel değerinin bu telaş içerisinde genellikle göz ardı edildiği, hatta pek çok akademik unvanlı kişinin de bu role soyunduğu görülmektedir. Bu tür yazarların çıkar ilişkilerini saptamak çok kolay olmamakla birlikte sağlık sektörünün çeşitli kesimleri ile doğrudan ya da dolaylı ilişkileri olduğu, bir kısmının ise ideolojik ve politik yanlılıklarının olduğu söylenebilir. Bilimsel dergilerin ve veri tabanlarının bu tür yazıları "makale" kategorisine sokması bir anlamda bu yazıların bilimselliğinin de meşrulaştırılması anlamına gelmektedir.

Bilimsel araştırmacılık ve yayın yapma konusunu akademik unvanlı kişilerin tekelinde olan bir alan olarak görmek tabii ki mümkün değildir ve doğru da değildir. Ancak burada ilginç olan akademik unvanlı kişilere kıyasla bu kişilerin daha fazla yayın yapmış, daha fazla atıf almış yani etki oluşturmuş olmalarıdır. Oluşturdukları etkilerin insan sağlığını olumlu yönde etkilemesi söz konusu ise buna saygı duymak gerekir. Oluşan etkiler sosyal medya fenomenleri "influencer"ların, trollerin oluşturduğu etkilere benzemekte ise ciddi sorun var demektir. Dergilerin tanıdığı, güvendiği hatta kadrolu bilim yazarlarının olması doğaldır. Bu yazarlar tarafından sipariş üzerine yazılan makalelerin ya da güncel konularda kaleme alınmış kamuya yönelik yazıların hakem süzgecinden geçmeden ya da hafif bir süzgeçten geçerek yayınlanması da anlaşılabilir bir durumdur. Bazı bilim dergileri bu tür yazıları ayrı kategoriler altında yayınlamakla birlikte bazılarının bilimsel makale grubunda değerlendirmesi sorun oluşturmaktadır.

Neden açık bilim?

Sağlık alanında bilgi üretimi özünde kamusal nitelikte bir faaliyet olmak zorundadır. Patent almayı gerektiren teknolojik ürünler, tanı ya da tedavi amaçlı cihazlar, yeni ilaçlar ya da aşı-serum gibi biyolojik ürünler geliştirme çalışmaları bir yana sağlıkla ilgili araştırma sonuçlarını yayınlamaya çalışan bilim insanlarının bu yayınlar yoluyla para kazanma gibi bir kaygıları yoktur. Hal böyle iken makalelerini yayınlayan dergilerin bu makalelerin telif hakkını devralarak başkalarının erişimine kapatmaları ve para karşılığında satmaları kural haline gelmiş, bilinen ve sıradan bir uygulamadır. İşin tuhaf tarafı kimsenin bu duruma karşı çıkmamasıdır. Oysa gerek yapılan araştırmaların sorgulanabilir, tartışılabilir ve tekrarlanabilir olması için gerekse doğru bilgilerin duyurulması, yaygınlaştırılması için bilimde açıklık ve şeffaflık şarttır.

Nitekim yukarıda değinilen manifestoda bu amaçla tüm araştırmalar için ön-kayıt uygulamasının standart hale gelmesi, çok merkezli çalışma tasarımlarının teşvik edilmesi, CONSORT ve PRISMA benzeri raporlama standartlarının kullanılması, hakem değerlendirmelerinin çeşitlendirilmesi, yayın öncesi ve sonrası hakem değerlendirmesinin de yapılması gibi önlemlerin gerekliliğine vurgu yapılmakta örneğin kamusal değerlendirmenin geleneksel hakem değerlendirmesinden daha etkili ve daha yararlı olacağı ifade edilmektedir. Ön-kayıt uygulamasının özellikle p-hekleme ve veri traşlamanın önüne geçerek seçici raporlamayı önlemek için gerekli bir yöntem olduğunun

anlaşılmasıyla birlikte ABD'de 1997 yılından beri klinik araştırmalara ön-kayıt zorunluluğu getirilmiştir. Bu uygulama 2005 yılından beri de ICJME tarafından yayına kabul için ön koşul haline gelmiştir. Ön-kayıt uygulaması sayesinde sağlanan açıklık sonucunda daha önce %80-95 olan pozitif sonuç raporlama oranı %40'a inmiştir (8).

Değerlendirme sadece yayın öncesi yapılan bir iş de olmamalıdır. Yayın sonrası hakemlik ve değerlendirme, planlama aşamasında, analizlerin tamamlanması sonrasında yapılan değerlendirmeler araştırma sonuçlarının güvenilirliği ve yaygınlaşması için önemlidir. Hatta açık hakem değerlendirmesinin yayın kalitesini arttırdığı görülmektedir (9).

Bilimin kamusal anlamda güvenilir olması için gerekli olan dört temel özellik **yetkinlik, dürüstlük, yararlılık ve şeffaflık** şeklinde sıralanmaktadır (10). Özellikle şeffaflık ve açıklık, tekrar edilebilirlik sorununun aşılması için bir ön koşul olmak zorundadır.

Epidemiyolojik araştırmalarda durum

Klinik araştırmalar için artık kural haline gelmeye başlayan açıklık, şeffaflık ve tekrar edilebilirlik konuları epidemiyolojik araştırmalar için henüz tartışmalı alanlardır. Epidemiyolojik araştırmaların karmaşık olan tasarımları nedeniyle daha ziyade analitik tekrar edilebilirliğin üzerinde durulması gerekmektedir. Bu amaçla yayın yapılırken etik sorunlar gözetilerek anonimleştirilen veri setlerinin ve kodlarının da paylaşılması önemli bir adımdır. Nitekim International Journal of Epidemiology bu uygulamayı başlatan ilk dergidir. Bunun ötesinde epidemiyolojik araştırmalarda çok değişkenlilikten kaynaklanan çeşitli yanlılık ve etkileşimlerin kontrolü ve nasıl kontrol edildiğinin gösterilmesi gerekmektedir.

Daha özet bir deyişle epidemiyolojik araştırmalardaki tekrarlanma sorununun ne ölçüde toplumsal farklılıklardan ne ölçüde araştırma yöntemlerinden veya sonuçların analizi ile raporlanmasından kaynaklandığını söylemek zor olmaktadır. Bazı araştırmalarda aynı ham verilerin yeniden analiz edilmesi durumunda aynı sonuçların elde edilemediği durumlarla karşılaşılabilmektedir (3). Öte yandan ham veri setlerinin ve kodların paylaşımı açıklık anlamında önemli adımlar olmakla birlikte araştırmanın saygınlığına gölge düşürecek girişimlere, kasıtlı analizlere yol açması da mümkündür.

Ön-kayıt uygulamasının epidemiyolojik araştırmalarda kural haline gelmesinin her zaman mümkün olamayacağı ya da sakıncalarının olabileceği yönünde tartışmalar sürmektedir. Ancak, özellikle hipotezlerin test edilmesi gereken deneysel tasarımlı araştırmalarda tanımlayıcı araştırmalara kıyasla daha yararlı olacağı kesindir. Ayrıca başta p-hekleme olmak üzere pek çok bilişsel yanlılığı önleyici bir role sahip olması söz konusudur.

Özellikle genç araştırmacıların açık bilim uygulamaları konusunda teşvik edilmeleri önem taşımaktadır. Nitekim bunun "https://reproducibilitea.org" gibi girişim örnekleri bulunmaktadır.

Bilimsel çalışmalardaki tekrar edilebilirlik ve açıklık konularının dinamikleri, nedenleri ve sonuçları kuşkusuz bu yazıda değinildiği kadar kısa değildir.

Bilimsel çalışmaların ve araştırmaların özgür düşünce ürünü olması gerekir. Bu anlamda araştırmacılığı kısıtlayıcı sınırların, anlamsız derecede katı kuralların olmaması gerektiğini savunmak her aklı başında bilim insanının temel ilkesidir. Ancak denetimden uzak ve tekrarı mümkün olmayan yöntemlerle üretilen yanlış bilgilerin yol açacağı yönlendiriciliğin de bir anlamda yeni bir sömürgecilik türüne dönüşebileceğini hatta dönüştüğünü akılda tutarak şu sorulara yanıt aramak gerekmektedir:

-Çok yayında yer almak, çok yayın yapmak anlamına gelir mi? Çok yayın sahibi olmak bilimsellik göstergesi midir?

-Bilimsel makale yayıncılığında “influencer” ya da trol rolü var mıdır, olmalı mıdır?

-Dergi editörleri, hakemler yapılan araştırmaların bilimselliğini mi yoksa ilginçliğini mi değerlendirmektedir?

-Dergi hakemleri ve editörlerinin yetkinliklerinin kriterleri var mıdır, olmalı mıdır?

-Dergi editörlerinin ya da hakemlerin kendi fikir hırsızlıklarını engelleyici mekanizmalar var mıdır, nelerdir, olmalı mıdır?

Kaynaklar

1- Pashler H, Wagenmakers E. Editors' Introduction to the Special Section on Replicability in Psychological Science: A Crisis of Confidence? Perspectives on Psychological Science. 2012;7(6): 528-30. doi:10.1177/1745691612465253.

2- Munafò MR, Nosek BA, Bishop DVM, Button KS, Chambers CD, du Sert NP, et al. A manifesto for reproducible science. Nat Hum Behav. 2017;1:0021. doi:10.1038/s41562-016-0021.

3- Mathur MB, Fox MP. Toward Open and Reproducible Epidemiology. American Journal of Epidemiology, 2023;192(4): 658–64. doi:10.1093/aje/kwad007.

4- Schor S, Karten I. Statistical Evaluation of Medical Journal Manuscripts. JAMA. 1966;195(13):1123–8. doi:10.1001/jama.1966.03100130097026.

5- Ioannidis JPA, Fanelli D, Dunne DD, Goodman SN. Meta-research: Evaluation and Improvement of Research Methods and Practices. PLOS Biology. 2015;13(10):e1002264. doi:10.1371/journal.pbio.1002264.

6- Ioannidis JPA, Klavans R, Boyack KW. The scientists who publish a paper every five days. Nature. 2018;561:167-9.

7- Ioannidis JPA. Prolific non-research authors in high impact scientific journals: meta-research study. Scientometrics. 2023;128(5):3171-84. doi:10.1007/s11192-023-04687-5.

8- Allen C, Mehler DMA. Open science challenges, benefits and tips in early career and beyond. PLoS Biol. 2019;17(5): e3000246.

9- Walsh E, Rooney M, Appleby L, Wilkinson G. Open peer review: a randomised trial. Brit. J. Psychiat. 2000;176:47–51.

10- Besley JC, Lee NM, Pressgrove G. Reassessing the variables used to measure public perceptions of scientists. Science Communication. 2021;43(1):3–32.