خطای روشهای ما

اندازه‌گیری در جغرافیای طبیعی[1]

نویسنده: جف واربرتون*
ترجمه: شهرام بهرامی

چکیده

ما به ندرت در مورد چگونگی دقت اندازه‌گیریهایی که انجام می‌دهیم فکر می‌کنیم. مقاله حاضر بعضی از مزایای تفکر در مورد خطاها و بسیاری از روشهایی که در آن خطاها، اندازه‌گیریهای ما را در جغرافیای طبیعی تحت تأثیرقرار می‌دهند، را تشریح می‌کند. مثالها از ژئومرفولوژی رودخانه‌ای، استفاده شده است تا ماهیت خطاها و چگونگی ایجاد آنها و نیاز به تشریح دقیق عدم قطعیت‌ها[2]، روشن شوند.

اساساً جغرافیای طبیعی، هنوز یک علم مبنی بر مطالعات میدانی[3] است و ما برای انجام کارهای جغرافیای طبیعی نیاز داریم که اندازه اشکال طبیعی و فرآیندهای محیطی را برداشت کنیم. به عنوان مثال در برنامه درسی[4] سطح AEB-A سال ۲۰۰۱، انتظار می‌رود که داوطلبین، تحقیقات میدانی را برعهده گیرند، که در آن لازم است داده‌های میدانی اولیه، به دقت جمع‌آوری، ثبت و تفسیر شوند.

بهترین مثال، محاسبه دبی[5] رودخانه است که نیازمند اندازه‌گیری دو پارامتر، **شکل مجرای رودخانه و سرعت جریان** است.

اندازه‌گیری

معمولاً قبل از اینکه به یک سری اندازه‌گیریها در جغرافیای طبیعی مبادرت ورزیم، سه سؤال مهم را مطرح می‌کنیم:

۱- چه اندازه‌گیریهایی را باید انجام دهیم؟

۲- دلیل انجام چنین اندازه‌گیریها چیست؟

۳- چگونه اندازه‌گیریها را انجام دهیم؟

متأسفانه چهارمین سؤال که به همان اندازه مهم است اغلب فراموش می‌شود:

۴- اندازه‌گیریها چقدر قابل قبول هستند؟

یک آزمایش ساده برای این موضوع آن است که با برداشت از مجلات جغرافیای طبیعی که جدیداً منتشر شده یا یک کتاب درسی، تکنیک میدانی سطح A[6] و شمارش تعداد دفعات، خطاهای اندازه‌گیری بررسی می‌شوند. ارزیابی خطا در اندازه‌گیری، نقش مهمی در توسعه علم داشته است. اندازه‌گیریها، ابزاری را برای آزمایش و اصلاح تئوریها فراهم می‌کنند.

جمله مشهور «وقتی که شما بتوانید آنچه را که در مورد آن صحبت می‌کنید، اندازه‌گیری کنید و آن را به صورت کمی بیان کنید، شما در مورد آن چیزی می‌دانید، اما موقعی که نتوانید آن را اندازه‌گیری و به صورت اعداد بیان کنید، دانش شما از نوع ناقص یا ناکافی است.» منسوب به لورد کلوین[7]

فیزیکدان بزرگ (۱۹۰۷ - ۱۸۲۴) می‌باشد.

این گفته موثق، ارزش کارهای تجربی را بیان می‌کند و اگر چه می‌توانیم مطمئن باشیم که لورد کلوین، اندازه گیریهای بسیار دقیقی را در آزمایشگاهش انجام داد، اما اندازه گیری بدون اطلاع از «کنترل کیفی» احتمالاً خطرناک‌تر از اندازه گیریهایی است که اصلاً بدون ارقام هستند.

هدف این مقاله کوتاه تشویق شما برای ارزیابی مجهول، در طرح و انجام هر نوع اندازه گیری است، که در جغرافیای طبیعی انجام می‌دهید. این فرآیند عموماً به آنالیز خطا[9] معروف است. هدف این است که بعضی از مزایای آنالیز خطا و بسیاری روشهای دیگر که در آنها خطای اندازه گیری ایجاد می‌شود را به شما گوشزد کند. در اینجا مثالی از محاسبه دبی رودخانه، با استفاده از روش مساحت - سرعت[10]، به کار رفته است تا نکات مهمی را نشان دهد.

طبیعت خطاها

خطا دارای دو معنی است:

۱- **تفاوت بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار واقعی.** مقدار واقعی اغلب مجهول است.

۲- **خطای مربوط به تکرار اندازه‌گیری‌ها در دفعات مشابه.** این خطا می‌تواند به روشهای گوناگون بیان شود، به عنوان مثال: انحراف معیار یا خطای درصد (۳٪±).

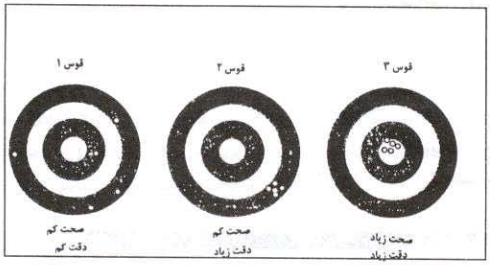
این دو تعریف دقیقاً مربوط به اصطلاحات **صحت**[11] و **دقت**[12] می‌شوند. صحت، درجه درستی یک مقدار و دقت درجه تغییرپذیری مربوط به یک روش خاص اندازه گیری است. با مراجعه به نتایج شلیک ۵ تیر در هدف توسط ۳ تیرانداز[13]، می‌توان به صورت نموداری، این دو اصطلاح را تفهیم کرد. تیرانداز ۱ بدترین پرتاب را دارد زیرا تیرها دارای کمترین صحت و دقت هستند. تیرانداز ۳ بهترین پرتاب را دارد، زیرا پرتاب دارای صحت ودقت بالائی است. تیرانداز ۲ دقیق اما نادرست است.

بنابراین، دقت، نشانه تقریبی کیفیت یک اندازه گیری است و عموماً بوسیله خطای درصد، (به عنوان مثال یک اندازه گیری (x) ۵٪ ±)، بیان می‌شود. خطا در هر اندازه گیری به دلایل بسیاری، شامل روش اندازه گیری، ابزار مورد استفاده و توجه انجام شده در اندازه گیری، ایجاد می‌شود. در محیطهای طبیعی به علت تغییرپذیری اشکال طبیعی و فرایندها، خطای بیشتری ایجاد می‌شود. بنابراین هر مقدار اندازه گیری شده (x) دارای یک عدم قطعیت یا خطای (e) مربوط به آن است. خطا، یک اندازه اختلاف بین مقدار اندازه گیری شده و مقدار واقعی است (X).

معادله (۱)

$$X = x \pm e$$

هر اندازه گیری باری[15] از اصطلاح خطا را به همراه دارد. متأسفانه این اصطلاح خطا در بسیاری از تحقیقات جغرافیای طبیعی «بار گم شده»[16] می‌باشد و بنابر مصلحت، فراموش شده است. اصطلاحات خطا ممکن است به صورت واحدهای یکسان اندازه گیری، مثل انحراف معیار یا خطای نسبی یا کسری، که عموماً به صورت درصدی گزارش می‌شود، بیان شوند. اگرچه تعمیم مشکل است، اما در بیشتر شرایط کار میدانی، اصطلاحات خطائی کمتر از ۵٪ به عنوان عالی و کمتر از ۱۰٪ خوب و کمتر از ۲۰٪ قابل قبول در نظر گرفته می‌شوند. انتظار می‌رود که مقادیر اندازه گیری شده در آزمایشگاه، درصد کمی از مقدار واقعی باشند.



نگاره (۱): نمایش نموداری تعاریف صحت و دقت. هدفها نتایج ۵ شلیک را از ۳ تیرانداز نشان می‌دهند.

انواع خطاها

خطاها، ممکن است که از منابع متعددی ایجاد شوند. اما آنها عموماً به خطاهای سیستماتیک[17] (ثابت)، خطاهای اتفاقی[18] و خطاهای غیرمنطقی[19] (نادرست) طبقه‌بندی می‌شوند.

جدول (۱) مثال‌هایی از این نوع خطاها را در مورد اندازه گیری دبی رودخانه، با استفاده از روش سرعت - مساحت، ارائه داده است.

اگر چه بیشتر مردم با روش سرعت آشنا هستند. اما لازم به ذکر است که دبی (Q) به صورت مترمکعب در ثانیه ($m^3\ s^{-1}$) به عنوان نتیجه، سرعت (v) (به صورت متر در ثانیه ($ms^{-1}0$) ضربدر مساحت مقطع عرضی رودخانه) به صورت مترمکعب (m^2)، محاسبه می‌شود.

معادله (۲)

$$Q = v \times A$$

به علت خطاهای مربوط به اندازه گیری سرعت و مساحت (جدول (۱))، لازم است که دو اصطلاح خطا، محاسبه شوند. این دو خطا، خطاهای ترکیب شده از همه عدم قطعیت‌هایی هستند که به طور بالقوه، اندازه گیری را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این اثر ترکیبی آنها به معنی آن است که در دبی

جدول (۱): نمونه‌های خطاها در اندازه‌گیری دبی رودخانه

خطا	مثال	روش مساحت - سرعت
سیستماتیک	تصحیح دستگاه	نوار مورد استفاده برای اندازه گیری پهنای رود، طولانی می‌شود.
	خطاهای مشاهده	سرعت، به طور پیوسته، در عمق نادرست اندازه گیری می‌شود.
	شرایط آزمایشگاهی	سرعت جریان دائماً در طول دوره اندازه گیری افزایش می‌یابد.
اتفاقی	خطای قضاوت	سرعت جریان در مکانهای خیلی کمی اندازه گیری می‌شود.
	شرایط تغییر (نوسان)	سطح آب به سرعت بالا و پائین می‌رود.
	طغیان یا آشفتگی کوچک	جریان سنج در طول ثبت، حرکت داده می‌شود.
	مشکلات تعریف	تعریف لبه‌های کانال مشکل است.
غیرمنطقی	اشتباه بزرگ	محل جریان سنج در مقطع عرضی ثبت نمی‌شود.
	خطاهای شمارشی	فرمول نادرست در کالیبراسیون جریان سنج، استفاده می‌شود.
	خطاهائی	خطاهائی که اغلب غیرقابل توضیح هستند و ترسیم و کشف آنها مشکل است.

محاسبه شده، خطا وجود دارد:

معادله (۳) $Q \pm eQ = V \pm ev \times A \pm eA$

اندیس‌ها (زیرنویس)[20] خطا را در مقادیر محاسبه شده و اندازه گیری شده مربوطه نشان می‌دهند.

ضمیمه ۱
مثالی از انتشار خطایی

اجازه دهید که دوباره محاسبه دبی را مورد بررسی قرار دهیم:

معادله (۲) $Q = v \times A$

قانون محاسبه دبی آن است که اگر سرعت (v) و مساحت مقطع عرضی (A) با چند درجه‌ای از خطا اندازه گیری شده باشند. (eA, ev به ترتیب) و این مقادیر برای محاسبه دبی (Q) مورد استفاده قرار گیرند. درصد خطا در دبی (eQ)، مجموع درصد خطاها در v و A است.

معادله (۴) $eQ = ev + eA$

نتایج اندازه گیری‌های مساحت - سرعت را در یک مجرای کوچک با بستر گراولی ملاحظه کنید: مساحت مقطع عرضی (مترمکعب)، ٪۶ ± ۲/۷۹

سرعت (متر در ثانیه) ٪۵ ± ۰/۸۱ است.

معادله (۲) دبی را بیان می‌کند: $Q=۲/۷۹\times۰/۸۱$

و با استفاده از معادله (۴) خطاها محاسبه می‌شوند. $eQ = ٪۶ + ٪۵$

و منجر به تخمین دبی می‌شود: ٪۱۱ ± ۲/۲۶

که خطا ٪۲۵ ± مترمکعب در ثانیه است.

بحث پیرامون خطاها

شکل معادله (۳) به علت در برداشتن اصطلاحات خطائی، برای اکثر مردم ناآشنا است. به هر جهت در معادلاتی که شامل متغیرهای اندازه گیری شده هستند، اصطلاحات خطا همیشه به طور ضمنی معرفی می‌شوند. مشکل آن است که هنگامی که دو مقدار اندازه گیری شده در هم ضرب می‌شوند، چگونه می‌توانیم خطائی راکه در عدد نتیجه ایجاد می‌شود محاسبه کنیم؟ راه‌حل این مسئله ، تخمین خطاها در مقادیر مستقیماً اندازه گیری شده سرعت و مساحت و سپس تعیین اینکه چگونه این خطاها در محاسبه ترکیب می‌شوند تا باعث ایجاد خطا در تخمین دبی شوند، می‌باشد. این موضوع به انتشار (تکثیر)[21] خطا معروف است و نشان می‌دهد ، همچنان که ما منابع مختلف خطا را با هم ترکیب می‌کنیم، اندازه خطاها می‌توانداافزایش یابد.

تشریح عدم قطعت و اعداد اصلی

یکی از نشانه‌های عدم قطعیت در اندازه گیریهای خاص، دقت عددی است که اندازه گیری با آن بیان می‌شود. مثلاً به یک رودخانه‌ای که پهنای آن ۱۲ متر تخمین زده شده است توجه کنید: این نشان می‌دهد که پهنا به ۱۲ نزدیکتر از ۱۱ و ۱۳ متر است، که اشاره بر ۰/۵ ± ۱۲ متر دارد. تعداد ارقام اصلی[22] (ارقامی که با عددی غیر از صفر شروع و با عددی غیر از صفر پایان

می‌پذیرند)، دقت اندازه‌گیری را نشان می‌دهند. یک قانون تجربی[23] آن است که خطا، به طور کلی، نصف واحد آخرین رقم[24] نشان داده شده است. به هر جهت اگر پهنای رودخانه ۱۵۰ متر گزارش شود یک مشکل ایجاد می‌شود، زیرا آخرین رقم صفر است. این به معنی خطای ۰/۵ ± متر است یا ۵± متر؟ این مشکل می‌تواند بوسیله یک نمادگذاری[25] (عددنویسی) علمی برطرف شود.

به عنوان مثال $۱/۵ \times ۱۰^{2}$ متر به یک خطای $۰/۰۵ \times ۱۰^{2}$ متر اشاره دارد در حالی که $۱/۵۰ \times ۱۰^{2}$ متر به یک خطای $۰/۰۰۵ \times ۱۰^{2}$ دلالت می‌کند. در نمادگذاری علمی همه صفرها اهمیت دارند.

تفسیر نهایی

هر چند مقاله حاضر، توضیح دقیقی از تئوری خطاها یا پایه آماری آنها ارائه نداده است، اما سعی کرده است که اهمیت اغلب پنهان خطا و عدم قطعیت را در اندازه‌گیریهای جغرافیای طبیعی روشن کند. در آینده، وقتی یک مقدار اندازه‌گیری شده به شما ارائه شود یا نیاز داشتید که یک طرح اندازه‌گیری را انجام دهید، یک سؤال از خود بپرسید، خطا کجاست؟

تکالیف عملی و نکاتی برای بحث

(۱): ۱۰ قلوه سنگ[26] جمع کنید. با استفاده از وسیله اندازه‌گیری مشابه (مثل خط‌کش یا کولیس[27] (قطرسنج)) حداکثر قطر ۱۰ سنگ را اندازه‌گیری کنید و میانگین ماکزیمم قطر را محاسبه نمائید. سپس یک دوست را وادار کنید که همین کار را انجام دهد. آیا اختلافی بین دو تخمین میانگین شما وجود دارد؟ اگر وجود دارد، چرا این اختلاف ایجاد شده است؟ به جدول(۱) مراجعه کنید و خطاهای محتمل را که در اندازه‌گیری وارد می‌شوند، مورد بحث قرار دهید.

(۲): ۳ قلوه سنگ را انتخاب کنید. یک خط‌کش به یک دوست و یک جفت کولیس به دوست دیگر بدهید از هر دو بخواهید که به طور مستقل کار کنند و سه محور اصلی ریگها را اندازه‌گیری کنند. کدام نتایج برای شما قابل قبول است و چرا؟

مطالعه بیشتر

در اینجا دو منبع که موضوع آنالیز خطا را معرفی می‌کند، ارائه شده است. این منابع لیست کاملی نیست، اما به عنوان یک مقدمه به ویژه برای معلمان مفید است.

*) استادیار جغرافیای طبیعی و علوم محیطی دانشگاه دارهام. تحقیقات عمده وی شامل ژئومرفولوژی رودخانه‌ای و محیطهای کوهستانی است.

پاورقی

۱- مقاله حاضر (the error of our ways: Measurment in physical geography) از مجله زیر است:
مجله Geography review، انتشارات Philip Allan، محل نشر Deddington oxfordshire، شماره ۵، می ۲۰۰۰ صفحه ۱۳ تا ۱۵.

2 - uncertainties
3- field - based science
4 - syllabus
5 - discharge
6 - A - Level field - technique text book
7 - Lord kelvin
8 - quality control
9 - error analysis
10 - velocity - area method
11 - accuracy
12 - precision
13 - firing
14 - archer
15 - baggage
16 - Lost luggage
17 - systematic
18 - random
19 - illegitimate
20 - subscripts
21 - error propagation
22 - significant figures
23 - rule of thumb
24 - last digit
25 - scientific notation
26 - pebbles
27 - calliper