

روش نوشتن گزارش

1- خواص کلی گزارش

گزارش نوشته این است که بوسیله آن یک فرد نتایج و جزئیات یک کار، مشاهده یا آزمایش را برای قضاوت یا تصمیم‌گیری در اختیار دیگران قرار می‌دهد. موضوع گزارش هر چه باشد، بسیار مهم است که گزارش بگونه‌ای نوشته و تنظیم شود که بیشترین اطلاعات را در کمترین حجم منتقل کند، ضمن اینکه کامل و بدون از تحریف باشد. گزارشگر تمام جزئیات را بدون هیچگونه استنباط شخصی آورده و سپس در جای خود به بحث و تحلیل آنها می‌پردازد. با توجه به اهمیت گزارش نویسی و نقشی که در زندگی شغلی هر فردی دارد، خوب است که نوشتن گزارشهای آزمایشگاه را لااقل بعنوان تمرینی برای آینده جدی بگیریم.

یک گزارش خوب باید تمیز و مرتب باشد. اگر از کاغذ کلاسور استفاده می‌کنید، حتی المقدور در یک طرف آن بنویسید. صفحه‌ی اول را به نام گزارش، نام نویسنده و ... اختصاص دهید. بگونه‌ای بنویسید که بتوان بر راحتی در مورد آن قضاوت کرد. نتایج باید واضح و بر راحتی در صفحه دیده شوند. قسمت‌های مجزا باید سرفصل و احتمالاً شماره داشته باشند. هر شکل یا جدولی در یک جای متن باید آدرس داده شده باشد. اگر گزارش دست نویس است. در نوشتن بی‌مبالات نباشید، خوانایی یک اصل مهم در گزارش نویسی است.

سعی کنید این اصول را در حد امکان در گزارشهای آزمایشگاه که می‌نویسید بکار ببرید. در قسمت‌های بعد جزئیات بیشتری از گزارش نویسی آزمایشگاه آورده شده است.

2- گزارش آزمایشگاه

هر آزمایش شامل دو یا چند آزمایش کوچکتر است که بصورت مثلاً "آزمایش 1، آزمایش 2 و ... مشخص شده‌اند. نتایج هر کدام از آنها باید در قسمت‌های مستقل از هم نوشته شوند. در ابتدای گزارش شرح مختصری در مورد کل آزمایش بدهید و سپس آزمایشهای مختلف را به ترتیب ذکر کنید.

برای هر کدام از آزمایش‌ها توضیح کوتاهی از نحوه‌ی انجام و هدف آن بنویسید و آنگاه نتایج را در یک یا چند جدول بیاورید. حتی المقدور سعی کنید تمام اطلاعات را در یک جدول بیاورید. برای کمیت‌ها حتماً واحد را ذکر کنید. مثلاً "اگر می‌نویسید "ارتفاع" جلو آن مشخص کنید که اعداد زیر یا روبروی آن در جدول بر حسب متر هستند یا سانتیمتر و ...

| | عمق حقیقی (mm) (± 0.01 mm) | عمق ظاهری (mm) (± 0.01 mm) | ضریب شکست |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 1 | 21/52 | 14/14 | $1/522 \pm 0/001$ |
| 2 | 21/47 | 14/16 | $1/516 \pm 0/001$ |
| 3 | 21/64 | 14/10 | $1/535 \pm 0/001$ |
| 4 | 21/48 | 14/13 | $1/521 \pm 0/001$ |
| میانگین n | | | 1/523 |
| انحراف معیار σ_{n-1} | | | $8 * 10^{-3}$ |

$$n=1/523 \pm 0/004$$

$$\sigma/\sqrt{n}$$

$$4*10^{-3}$$

جدول بالا مثال ساده‌ای از یک جدول کامل برای یک آزمایش است. آزمایش مربوط می‌شود به اندازه‌گیری ضریب شکست با استفاده از اندازه‌گیری عمق ظاهری و عمق حقیقی ($n = \frac{\text{عمق حقیقی}}{\text{عمق ظاهری}}$).

دقت کنید که واحد اندازه‌گیری در بالا ذکر شده است. تمام اعداد همراه با خطاهایشان آورده شده‌اند. در مورد عمق‌ها خطای اندازه‌گیری خطای خط کش ورنیه دار (0/01mm) گرفته شده که برای همگی اندازه‌گیری‌ها مشترک است و در بالا نوشته شده است. برای هر کدام از مقادیر ضریب شکست بدست آمده است، خطای منتقل شده از (0/01mm) خطای عمق‌ها محاسبه و در جلو آن نوشته شده است. مثلاً "اگر خطا 0/0008 بدست می‌آید بیش از سه رقم بعد از ممیز جایز نیست. ضمناً" در حذف کردن رقم‌های بعدی قواعد گرد کردن استفاده شده‌اند. مثلاً "1/52166 به 1/522 گرد می‌شود. میانگین، انحراف معیار و خطای اتفاقی $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ در زیر ستون ضریب شکست محاسبه و

آورده شده‌اند. مقدار نهایی ضریب شکست به همراه خطای آن (محاسبه‌ی خطا در بخش بعد توضیح داده می‌شود) در یک جعبه در گوشه نوشته شده است. به این ترتیب هر کسی با اولین نگاه نتیجه‌ی نهایی آزمایش را می‌بیند.

در ادامه با مشخص کردن یک تیترا می‌توانید جزئیات محاسبه‌ی خطاهایی که در جدول نوشته‌اید بیاورید. در آخر بر روی نتیجه بحث کنید. آیا مقدار بدست آمده قابل قبول است؟ اگر این مقدار با مقادیر بدست آمده از روش‌های دیگر متفاوت است، آیا اختلاف در محدوده‌ی خطای محاسبه شده است؟ اگر نیست علت احتمالی چیست؟ وجود خطاهای سیستماتیک یا اشتباه در محاسبه‌ی خطا؟ حتماً به حدود خطاها دقت کنید. مثلاً "اگر خطای اندازه‌گیری یک طول موج را $0/1 \text{ \AA}$ بدست آوردید. با احتمال قوی اشتباهی مرتکب شده‌اید زیرا این معادل حدود 0/001% دقت است که بعید می‌نماید. در بسیاری از آزمایش‌ها دقت 1% قابل قبول است. بخاطر داشته باشید که خطای کمتر لزوماً به معنی آزمایش بهتر نیست. بلکه تحلیل نتیجه بدست آمده اهمیت دارد. اگر برای آزمایش لازم است نمودار بکشید آن را بر روی کاغذ مخصوص رسم کنید و در انتهای گزارش اضافه کنید. دقت کنید که محورها نام و واحد داشته باشند. محورها باید طوری مقیاس بندی شوند که از حداکثر فضای صفحه استفاده شود. بعنوان مثال اگر اعداد محور در محدوده 1/61-1/82 تغییر می‌کنند، محور از صفر یا 1 درجه بندی نکنید، بلکه بگونه‌ای درجه‌بندی کنید که به عنوان مثال از 1/60 تا 1/85 را ببوشاند. هر کدام از نقاط بدست آمده را روی نمودار با یک علامت * یا مشابه آن مشخص کنید و اگر قرار است که این نقاط روی یک خط باشند، بهترین خط را مشخص و رسم کنید. شیب و عرض از مبدا را که بروش کمترین مربعات حساب کنید در یک گوشه بنویسید. اصولاً "فهم نمودار تا جایی ممکن باید مستقل از توضیحات متن باشد و بتوان با یک نگاه تمام اطلاعات را از آن گرفت.

3-محاسبه ی خطا

خطا ممکن است اتفاقی یا سیستماتیک (منظم) باشد. عوامل اتفاقی نظیر زاویه‌ی دید، عدم تنظیم کاملاً دقیق، نویز، ... موجب خطای اتفاقی می‌شوند. اعداد بدست آمده ناشی از اینگونه عوامل معمولاً توزیعی گاوسی حول یک نقطه‌ی میانگین تشکیل می‌دهند (البته اگر تعدادشان زیاد باشد). خطاهای سیستماتیک ناشی از محدودیت‌های دستگاهی، عادات فرد آزمایشگر یا هر عامل دیگری است که به یک صورت در تمام نتایج آزمایشی اثر می‌گذارد. عادت آزمایشگر در خواندن اعداد روی خطکش از یک زاویه‌ی خاص، موازی نبودن نور در آزمایشی که نور باید کاملاً موازی باشد، تکفام

نبودن نوري که باید علي الاصول تکفام باشد، محدودیت فرمولي که با آن محاسبه مي‌کنید، درجه‌بندی دستگاه اندازه‌گیری و .. همگی عواملی هستند که موجب خطای سیستماتیک می‌شوند. اینگونه خطا با تکرار آزمایش کشف و تصحیح نمی‌شود و گاهی تا حدود زیادی مقدار واقعي را تغییر می‌دهد. کشف عوامل خطای سیستماتیک و تصحیح آن بسیار مهم و نشان دهنده توافق آزمایشگر بر کار است. در آزمایشهایی که انجام می‌دهید خطاها را تا جای ممکن می‌کنید (بیشتر خطای اتفاقی) و در مورد عوامل خطای سیستماتیک و روش‌های بهبود بحث کنید.

-خطای انجام مکرر یک آزمایش

فرض کنید اعداد x_1, x_2, \dots, x_n در n آزمایش برای اندازه‌گیری یک کمیت بدست آمده‌اند. مقدار میانگین \bar{x} را نزدیکترین و محتملترین عدد برای مقدار واقعي می‌گیرند. محتملترین خطا، ناشی از

پراکندگی اعداد حول که به علت عوامل اتفاقی بوجود آمده است، مساوی $\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$ است که σ_{n-1}

انحراف معیار و n تعداد آزمایش است.

-انتقال خطا

فرض کنید Z تابعی از متغیرهای x و y و ... باشد. در این صورت در محاسبه‌ی Z از روی x و y و ... خطای آنها به Z منتقل می‌شود. اگر تابع بصورت $Z=f(x,y,\dots)$ باشد، با یک دیفرانسیل‌گیری خواهیم داشت:

$$\delta z = \frac{\partial f}{\partial x} \delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \delta y + \dots$$

خطای منتقل شده محتمل‌تر را معمولاً "بصورت زیر حساب می‌کنند:

$$(1) \quad (\delta z)^2 = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \delta x \right]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial y} \delta y \right]^2 + \dots$$

یک حالت خیلی مهم وقتی است که تابع f حاصلضرب متغیرهای x و y و ... است. در این صورت (1) بصورت زیر در می‌آید:

$$\left[\frac{\delta z}{z} \right]^2 = \left[\frac{\delta x}{x} \right]^2 + \left[\frac{\delta y}{y} \right]^2 + \dots$$

و اگر داشته باشیم $z=x^n y^m$... نتیجه می‌شود:

$$\left[\frac{\delta z}{z} \right]^2 = n^2 \left[\frac{\delta x}{x} \right]^2 + m^2 \left[\frac{\delta y}{y} \right]^2 + \dots$$

اینها روابط بسیار مهمی هستند که مکرراً در محاسبه خطاها بکار می‌روند.

-خطاي كلي آزمايش‌ها

فرض كنيد براي زاويه مينيم انحراف نوري با طول موج مشخص از يك منشور را در 5 آزمايش، مقادير زير بدست آورده باشيم:

| | | | | | |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $\delta_m =$ | $37^\circ, 18'$ | $37^\circ, 15'$ | $37^\circ, 31'$ | $37^\circ, 22'$ | $37^\circ, 25'$ |
|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|

محمل‌ترين مقدار براي δ_m ميانه‌گين آنها يعني $37^\circ, 22'$ است. دقت اندازه‌گيري $1'$ مي باشد منتها خطاهاي اتفاقي ديگري وجود دارند كه موجب پراكندي اعداد بدست آمده شده‌اند. اين خطا معادل $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ است كه σ انحراف معيار و n تعداد اندازه‌گيري است. اگر

اين مقدار خطا از دقت اندازه‌گيري کمتر بود خطاي كل همان خطاي وسيله‌ي اندازه‌گيري ($1'$) مي‌باشد و اگر بزرگتر بود، خود

$\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ خطاي اندازه‌گيري است. در مورد مثال گفته شده: $\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 3'$ بنا بر اين مقدار مينيم انحراف برابر

$$\delta_m = 37^\circ, 22' \pm 3'$$

دقت كنيد چون مقدار خطا $3'$ است مي‌توان مقدار δ_m را بصورت $22'$ و 37° نوشت، اگر اين مقدار خطا بيشتر از $5'$ بود رقم آخر بي‌معني بود. در آن صورت مي‌شد نوشت: $20'$ و 37° . اين قاعده كلي است مثلاً عدد 785615 با دقت ± 750 را بايد به صورت 786×10^3 نوشت. فرض كنيد اكنون بخواهيم ضريب شكست منشور را براي اين طول موج با داشتن اين زاويه‌ي مينيم انحراف حساب كنيم. فرمول آن چنين است:

$$n = \frac{\sin\left[\frac{\delta_m + A}{2}\right]}{\sin\left[\frac{A}{2}\right]}$$

كه A زاويه رأس منشور است. فرض كنيد: $A = 59^\circ, 31' \pm 5'$ با اين فرض‌ها مقدار n بدست مي‌آيد: $n = 1.5075886$ تمام ارقام اين عدد با معني نيستند و بايد با محاسبه خطاديد كه تا چند رقم اعشار مي‌توان عدد را نوشت. مقدار خطا را بدست مي‌آوريم:

$$\left[\frac{\delta n}{n}\right]^2 = \left[\frac{\delta \left[\sin\frac{\delta_m + A}{2}\right]}{\sin\frac{\delta_m + A}{2}}\right]^2 + \left[\frac{\delta \left[\sin\frac{A}{2}\right]}{\sin\frac{A}{2}}\right]^2 = \left[\frac{\delta \left[\sin\frac{\delta_m + A}{2}\right]}{\frac{0}{74}}\right]^2 + \left[\frac{\delta \left[\sin\frac{A}{2}\right]}{\frac{0}{49}}\right]^2$$

$$\left[\delta \left[\sin\frac{\delta_m + A}{2}\right]\right]^2 = \left[\frac{1}{2} \cos\left[\frac{\delta_m + A}{2}\right] \delta(\delta_m)\right]^2 + \left[\frac{1}{2} \cos\frac{\delta_m + A}{2} \delta A\right]^2 = 3 \times 10^{-7}$$

$$\left[\delta \left[\sin\frac{A}{2}\right]\right]^2 = \left[\frac{1}{2} \cos\frac{A}{2} \delta A\right]^2 = 4 \times 10^{-7}$$

$A\delta$ و $\delta(\delta_m)$ بر حسب راديان هستند.

بنابراین در کل خواهیم داشت:

$$\left[\frac{\delta n}{n}\right]^2 = \frac{2}{2} \times 10^{-6} \rightarrow \frac{\delta n}{1/5} = \frac{1}{5} \times 10^{-3} \rightarrow \delta n = 2 \times 10^{-3}$$

بنابراین $n=1/508 \pm 0/0002$.

به این ترتیب ما ابتدا با انجام چند آزمایش مقدار δ_m همراه با خطای آن را بدست آورده و سپس انتقال این خطا را به n حساب نمودیم. می‌توان برای هر کدام از δ_m ها مقدار n را بدست آورد و آنگاه خطای n را معادل $\frac{\sigma}{\sqrt{5}}$ گرفت

که σ انحراف معیار اعداد بدست آمده برای n است. البته بعداً باید مقایسه کرد که این مقدار خطا از مقدار خطای منتقل شده به n بر اثر خطای اندازه‌گیری δ_m (1') کمتر نباشد.

-خطا در کشیدن خط با روش کمترین مربعات

برای رسم بهترین خطی که از نقاط (x_1, y_1) و (x_2, y_2) و ... عبور می‌کند از روش کمترین مربعات استفاده می‌شود. اگر m ضریب زاویه و h عرض از مبدأ باشد در این روش به این صورت بدست می‌آیند:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - mx_i)}{n} \quad \text{و} \quad m = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})y_i}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

در ماشین‌های حساب کاسیو، در مد LR، محاسبه m و h به این طریق امکان‌پذیر است به دلیل خطاهای مختلف نقاط در حوالی خط بدست آمده پراکنده شده‌اند. این پراکندگی موجب خطا در مقدار m و h می‌شود. این خطاها با روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$(\delta_m)^2 \simeq \frac{1}{D} \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-2}$$

$$(\delta_h)^2 \simeq \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{D} \right] \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-2} = \left[\frac{D}{n} + \bar{x}^2 \right] (\delta_m)^2$$

بطوریکه:

$$d_i = y_i - mx_i - h$$

$$D = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

با دادن مقادیر زوج‌های مرتب (x_1, y_1) به ماشین حساب می‌توانید m و h را حساب کنید. همچنین مقدار D براحتی بدست می‌آید زیرا: براحتی $D = (n-1)\sigma_{n-1}^2$ و σ_{n-1} با ماشین حساب محاسبه

می‌شود.