



نشریه روش های تحلیلی و عددی



در مهندسی معدن

تارنمای نشریه: <http://anm.yazd.ac.ir/>

(مقاله یادداشت فنی)

خودکارسازی دقیق و سریع محاسبات تخصصی فرآوری مواد معدنی با ایجاد افزونه به نرم افزار صفحه گسترده اکسل

چکیده

ارزیابی عملکرد فرایندها در صنایع معدنی و بویژه در واحدهای فرآوری مواد معدنی براساس بکارگیری فرمول ها و روابط، گاه پیچیده و طولانی است. نرم افزار Microsoft Excel به عنوان یکی از ابزارهای اصلی محاسبات و تحلیل داده در علوم و صنایع، همواره مورد استفاده گسترده مهندسان و پژوهشگران قرار گرفته است. با وجود قابلیت های متنوع، این نرم افزار فاقد بسیاری از روابط تخصصی مورد نیاز در حوزه فرآوری مواد معدنی است؛ کمبودی که باعث شده بسیاری از مهندسان ناچار به صرف زمان زیاد برای فرمول نویسی های پیچیده و ترکیب توابع عمومی شوند. این فرایند نه تنها مستعد بروز خطاهای محاسباتی و اشتباهات ناشی از تبدیل واحدها و برداشت نادرست از روابط است، بلکه موجب کاهش دقت و کارایی در انجام محاسبات تخصصی می شود. از این رو، توسعه ابزاری که بتواند روابط استاندارد و صحیح فرآوری مواد معدنی را به صورت توابع آماده و قابل اطمینان در اختیار کاربران قرار دهد، ضرورتی محسوس در حوزه مهندسی معدن و صنایع وابسته به شمار می رود. در این پژوهش، در پاسخ به این نیاز، یک افزونه تخصصی برای نرم افزار صفحه گسترده اکسل طراحی شده که در حال حاضر بیش از ۵۰ رابطه کلیدی فرآوری مواد معدنی را در قالب توابع آماده ارائه می دهد. مراحل انجام کار شامل استخراج و ارزیابی دقیق روابط از منابع معتبر، پیاده سازی این روابط با زبان برنامه نویسی #C و تدوین راهنمای کاربری و انتشار افزونه در پلتفرم GitHub بود. نتیجه این فعالیت، افزونه ای است که پس از نصب، یک بخش اختصاصی به توابع اکسل به نام Mineral Processing اضافه کرده و امکان استفاده ساده و سریع از روابط تخصصی فرآوری مواد معدنی را فراهم می سازد. این افزونه، با تسهیل دسترسی به روابط معتبر و کاهش احتمال خطا، گامی مؤثر در ارتقای دقت، سرعت و اطمینان محاسبات فرآوری مواد معدنی فراهم کرده است.

کلمات کلیدی

مایکروسافت اکسل، فرآوری مواد معدنی، افزونه تخصصی، توابع اکسل، برنامه نویسی

۱- مقدمه

طراحی مدل‌های عددی، تحلیل حساسیت، شبیه‌سازی‌های ساده و محاسبات فنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین برای تحلیل داده‌های تجربی و آزمایشگاهی، توابعی مانند میانگین، انحراف معیار، کوواریانس، همبستگی و آزمون‌های فرض آماری را فراهم کرده است [۳، ۵].

اکسل در قالب نسخه‌های مختلفی از جمله نسخه‌های دائمی مانند (Office 2024) و نسخه‌های اشتراکی مبتنی بر فضای ابری مانند (Microsoft 365) عرضه شده است. این نرم‌افزار در بیش از ۱۰۰ زبان در دسترس است و طبق آمارهای منتشرشده، بیش از یک میلیارد نسخه از آن در سراسر جهان نصب شده است. اکسل سهم قابل‌توجهی از درآمد مایکروسافت را به خود اختصاص داده و در بسیاری از سازمان‌ها، دانشگاه‌ها و مؤسسات مالی به‌عنوان ابزار استاندارد تحلیل داده شناخته می‌شود [۶-۹].

با وجود رقاباتی مانند Google Sheets، LibreOffice Calc و WPS Office، اکسل به‌دلیل امکانات گسترده، پایداری بالا، یکپارچگی با سایر محصولات مایکروسافت مانند Power BI، SharePoint و Teams، با جامعه کاربری وسیع همچنان در صدر انتخاب کاربران حرفه‌ای قرار دارد. در مجموع Microsoft Excel نه‌تنها یک نرم‌افزار صفحه‌گسترده، بلکه بستری جامع برای تحلیل، تصمیم‌گیری و مدل‌سازی در حوزه‌های مختلف علمی است [۱۰، ۱۱].

۱-۱- توابع پیشفرض موجود در اکسل

در نرم‌افزار Microsoft Excel، توابع بسته به موضوع، دسته‌بندی شده‌اند تا کاربران بتوانند به‌راحتی به توابع مورد نیاز خود دسترسی داشته باشند. هر دسته شامل مجموعه‌ای از توابع مرتبط با آن حوزه است. در نرم‌افزار اکسل، دسترسی به این توابع بسیار ساده و منعطف طراحی شده تا کاربران با هر سطحی از مهارت بتوانند از آن‌ها بهره‌مند شوند. یکی از رایج‌ترین روش‌ها، استفاده از نوار فرمول^۱ است؛ برای این کار لازم است روی یک سلول اکسل کلیک کرده و علامت مساوی (=) تایپ و نام تابع مورد نظر وارد شود. اکسل به‌صورت خودکار لیستی از توابع پیشنهادی را نمایش می‌دهد که می‌توان آن‌را انتخاب کرد (شکل ۱).

ارزیابی عملکرد و بررسی فنی فرایندها در صنایع معدنی و به‌ویژه در واحدهای فرآوری مواد معدنی براساس بکارگیری فرمول‌ها و روابط گاه‌پیچیده و طولانی است. در این روش علاوه بر احتمال بروز اشتباه و خطا در مراحل انجام محاسبات، اتلاف زمان نیز وجود دارد. در بعضی مواقع نیز رسیدن به نتیجه نهایی مساله مستلزم چندین مرحله طولانی و غیرپیوسته در محاسبات بوده و نیازمند انجام حجم زیادی فرمول‌نویسی در نرم‌افزارهایی مانند اکسل است. از طرفی انجام این کار نیازمند این است که دقیق‌ترین رابطه از منابع معتبر استخراج و مطالعه شود. گاهی در بیان یک رابطه تفاوت‌هایی در کتب و مقالات وجود داشته و تشخیص رابطه صحیح بین آنان نیازمند هوشمندی و تسلط کامل بر موضوع است. بنابراین، وجود این مشکلات هرچند به ظاهر کوچک، سد راه بسیاری از مهندسان در استفاده و بکارگیری بخش زیادی از روابط مورد نیاز و روزمره شده است.

نرم‌افزار Microsoft Excel یکی از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین ابزارهای صفحه‌گسترده در جهان است که توسط شرکت مایکروسافت توسعه یافته و نخستین بار در سال ۱۹۸۵ برای سیستم‌عامل مکینتاش و سپس در سال ۱۹۸۷ برای ویندوز عرضه شد. این نرم‌افزار به‌سرعت توانست جایگاه خود را در میان کاربران حرفه‌ای، دانشگاهیان، تحلیل‌گران و مدیران تثبیت کند و امروزه به‌عنوان یکی از اجزای اصلی مجموعه Microsoft Office شناخته می‌شود [۱، ۲].

اکسل با قابلیت‌های گسترده‌ای که در زمینه مدیریت داده، محاسبات عددی، تحلیل آماری، مدل‌سازی مالی و مصورسازی اطلاعات ارائه می‌دهد، به ابزاری حیاتی در حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی تبدیل شده است. این نرم‌افزار با پشتیبانی از صدها تابع ریاضی، آماری، منطقی و مالی، امکان انجام محاسبات پیچیده را فراهم می‌سازد. همچنین با بهره‌گیری از زبان برنامه‌نویسی VBA (Visual Basic for Applications)، کاربران می‌توانند فرآیندهای تکراری را خودکارسازی کرده و ابزارهای سفارشی برای تحلیل داده طراحی کنند [۳-۵]. اکسل در مهندسی، برای

^۱ Formula bar

- توابع ریاضی و مثلثات (Math & Trigonometry): این دسته شامل توابع محاسبات عددی، مثلثاتی و جبری

است. به عنوان نمونه:

SUM: جمع مقادیر یک محدوده

POWER: توان عدد

ABS: قدر مطلق عدد

ROUND: گرد کردن عدد

SIN, COS, TAN: توابع مثلثاتی

- توابع آماری (Statistical): برای تحلیل داده‌های عددی و آماری استفاده می‌شوند. به عنوان نمونه:

AVERAGE: میانگین

MEDIAN: میانه

COUNT: شمارش سلول‌های عددی

CORREL: ضریب همبستگی

STDEV: انحراف معیار

- توابع منطقی (Logical): برای تصمیم‌گیری و ارزیابی شرایط به کار می‌روند. به عنوان نمونه:

IF: بررسی شرط

AND: بررسی صحت چند شرط

NOT: معکوس کردن نتیجه

OR: بررسی صحت حداقل یکی شرط

- توابع مالی (Financial): برای محاسبات مالی و اقتصادی طراحی شده‌اند. به عنوان نمونه:

PMT: محاسبه مبلغ قسط وام

NPV: ارزش فعلی خالص

FV: ارزش آینده سرمایه‌گذاری

RATE: نرخ بهره دوره‌ای

IRR: نرخ بازده داخلی

- توابع مهندسی (Engineering): در نسخه‌های خاص اکسل برای محاسبات مهندسی و علمی عرضه شده‌اند.

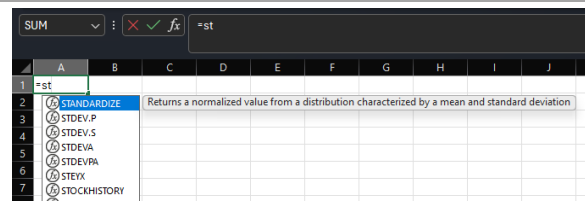
به عنوان نمونه:

CONVERT: تبدیل واحدها

COMPLEX: ساخت عدد مختلط

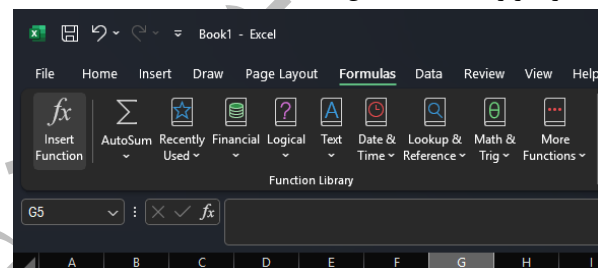
IMSUM: جمع اعداد مختلط

ساختاردهی، پیاده‌سازی و دسته‌بندی توابع در اکسل عمدتاً توسط تیم توسعه‌دهنده‌ی مایکروسافت انجام شده است، اما در طراحی بسیاری از این توابع از مفاهیم علمی، آماری، مالی و مهندسی برگرفته شده از نتایج کار دانشمندان، پژوهشگران و نظریه‌پردازان مختلف بوده است. اگرچه در ظاهر اکسل توابعی را در قالب توابع مهندسی یا آماری به صورت پیش فرض ارائه کرده است، اما توابع ارائه شده بیشتر جنبه عمومی داشته و روابط تخصصی رشته‌های مهندسی در آن گنجانده نشده است. به طور مثال در اکسل توابعی برای بدست آوردن حد جدایش، توزیع دانه‌بندی، محاسبه باردرگردش آسیا، محاسبه اندازه گلوله مورد نیاز آسیا، محاسبه حداقل مقدار نمونه‌گیری و ده‌ها توابع موردنیاز محاسبات روزانه در مهندسی معدن و فرآوری مواد معدنی وجود ندارد. لذا این توابع باید توسط تیم‌های تخصصی هر رشته با ترکیب توابع پیش‌فرض اکسل نوشته شود.



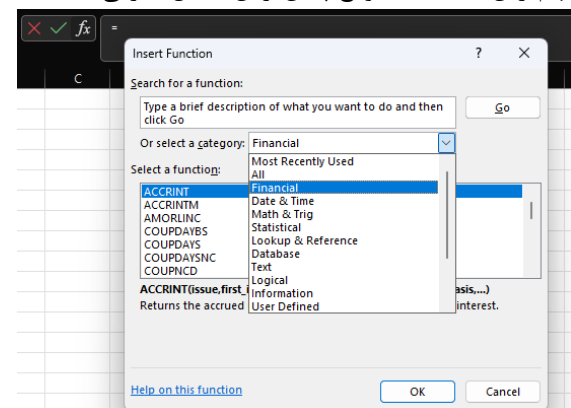
شکل ۱: روش اول استفاده از توابع اکسل با کارکتر "="

روش دیگر، استفاده از سر برگ Formulas در نوار ابزار بالای صفحه است. در این بخش، توابع به صورت دسته‌بندی شده قرار دارند؛ از جمله دسته‌های ریاضی، منطقی، متنی، تاریخ و زمان، مالی و غیره. با کلیک روی هر دسته، لیستی از توابع مرتبط ظاهر می‌شود و با انتخاب هر تابع، پنجره‌ای باز می‌شود که به کاربر کمک می‌کند آرگومان‌های لازم را وارد کند. این روش برای کسانی که با ساختار توابع آشنایی ندارند بسیار کاربردی است (شکل ۲).



شکل ۲: روش دوم استفاده از توابع اکسل با استفاده از سربرگ Formulas

روش سوم استفاده از دکمه (fx) کنار نوار فرمول است. این گزینه پنجره‌ای به نام Insert Function را باز می‌کند که در آن می‌توان دسته‌بندی توابع و تابع مورد نظر را جستجو کرده یا از دسته‌بندی‌ها انتخاب کرد. این قابلیت برای زمانی مفید است که کاربر نام دقیق تابع را نمی‌داند (شکل ۳). در ادامه، مهم‌ترین دسته‌های توابع پیش‌فرض اکسل معرفی شده‌اند:



شکل ۳: روش سوم استفاده از توابع اکسل با استفاده از دکمه fx

شکل ۴: فرمول نویسی تابع d_{50c} پلیت در اکسل

بدیهی است که مهندسان ممکن است در تبدیل روابط به فرمول در اکسل دچار اشتباه سهوی شوند. نکته مهم‌تر این است که قبل از فرمول نویسی در اکسل نیازمند این است که دقیق‌ترین رابطه از منابع معتبر استخراج و مطالعه شود. گاهی در بیان یک رابطه تفاوت‌هایی در کتب و مقالات وجود دارد. تشخیص رابطه صحیح بین آنان نیازمندی هوشمندی و تسلط کامل بر موضوع است.

گاهی نیاز است واحد همه پارمترهای ورودی یکی تابع به دقت مورد بررسی قرار گیرد. زیرا بعضی از روابط در مهندسی معدن و فرآوری مواد معدنی، بر اساس سیستم متریک^۲ و برخی دیگر بر اساس سیستم امپریال^۱ هستند. گاهی این تبدیل واحدها و عدم توجه به سیستم اندازه‌گیری‌ها، منبع اصلی بروز خطاهای محاسباتی هستند. به طور خلاصه در انجام محاسبات فرآوری مواد معدنی می‌تواند اشتباهاتی رخ دهد که ناشی از عوامل زیر می‌تواند باشد:

- وجود تناقضات در روابط ارایه شده در منابع مختلف
- عدم دقت در فرمول نویسی در اکسل
- عدم توجه به واحد متغیرهای ورودی و عدم توجه به تبدیل واحدها

در بعضی مواقع نیز رسیدن به نتیجه نهایی مساله مستلزم چندین مرحله طولانی و غیرپیوسته در محاسبات بوده و نیازمند انجام حجم زیادی فرمول نویسی در اکسل است. به عنوان مثال در شکل ۷، حجم محاسبات لازم برای مدلسازی جدایش در هیدروسیکلون نشان داده شده است. این حجم از محاسبات سبب می‌شود که در صورت بروز اشتباه، پیدا کردن ریشه اشتباه محاسبات کاری بسیار زمان‌بر و خسته‌کننده باشد. (هدف از درج شکل ۷ صرفاً نشان دادن حجم محاسبات است، به همین دلیل متن‌های موجود در شکل ناخوانا و بسیار ریز هستند.)

تجربه بیش از دو دهه‌ای نویسندگان این مقاله در دانشگاه و صنعت نشان داده، وجود این مشکلات هرچند به ظاهر کوچک، سد راه بسیاری از مهندسان در استفاده و بکارگیری بخش زیادی از روابط مورد نیاز و روزمره فرآوری مواد معدنی

اگر در نرم افزار اکسل روابط تخصصی همه رشته‌های مهندسی، پزشکی و غیره گنجانده شود، حجم نرم افزار بیش از حد بالا رفته و استفاده از آن برای بسیاری از کاربران دشوار می‌کند. از طرف دیگر اضافه کردن همه روابط سبب می‌شود که گاهی یافتن توابع از میان مثلاً ۱۰ هزار تابع کاری دشوار بوده و در بعضی موارد کاربران را به اشتباه بیندازد. بنابراین انتظار نمی‌رود که شرکت مایکروسافت حتی در آینده چنین اقدامی را در اکسل انجام دهد. اما مایکروسافت با فراهم کردن امکان افزودن افزونه‌های متعدد در نرم‌افزار اکسل، زمینه‌ای را مهیا کرده تا گروه‌های تخصصی مختلف بتوانند بسته به نیاز خود امکاناتی را مازاد بر امکانات پیش‌فرض به اکسل و سایر نرم‌افزارهای آفیس اضافه کنند.

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

همانطور که گفته شد، برای استفاده از اکسل در فرآوری مواد معدنی باید فرمول‌ها و روابط مورد نیاز با ترکیب توابع پیش‌فرض ایجاد کرد. این روش در بسیار مواقع کاری بسیار زمان‌بر بوده و احتمال بروز اشتباه و خطا در مراحل فرمول نویسی وجود دارد. به عنوان مثال برای محاسبه حد جدایش تصحیح شده (d_{50c}) در هیدروسیکلون با استفاده از مدل پلیت^۱ (رابطه ۱) باید این تابع به صورت رابطه ۲ در اکسل فرمول نویسی شود (شکل ۴).

$$d_{50c} = F_1 \frac{39.7 D_c^{0.46} D_i^{0.6} D_0^{1.21} \eta^{0.5} e^{0.063 \theta}}{D_u^{0.71} h^{0.38} Q^{0.45} \left[\frac{\rho_s - 1}{1.6} \right]^k} \quad (1)$$

$$B11 = (39.7 * B2^{0.46} * B3^{0.6} * B4^{1.21} * B8^{0.5} * \text{EXP}(0.063 * B9)) / (B5^{0.71} * B6^{0.38} * B10^{0.45} * ((B7 - 1) / 1.6)^{0.5}) \quad (2)$$

SUM			
= (39.7*B2^0.46*B3^0.6*B4^1.21*B8^0.5*EXP(0.063*B9))/(B5^0.71*B6^0.38*B10^0.45*((B7-1)/1.6)^0.5)			
	A	B	C
1	Parameter of cyclone		
2	Dc(cm)	50.80	
3	Di(cm)	15.24	
4	Do(cm)	16.00	
5	Du(cm)	11.50	
6	h(cm)	150.00	
7	ρs(g/cm3)	2.80	
8	Eta	1.00	
9	f (%)	22.38	
10	Q(lit/min) each cyclon	3155.00	
11	d50(mm)	0.5	

^۲ Imperial^۱ Plitt's model^۲ Metric

شده است. گاهی نیز بسیاری مهندسان با وجود بکارگیری صحیح روابط، همواره به نتایج بدست آمده شک و تردید داشته و مجبورند بارها به مراجع و یا فرمول‌هایی که نوشته‌اند مراجعه کنند و صحت آنان را چندین و چند بار بررسی کنند.

نویسندگان این مقاله جهت رفع مشکلات ذکر شده، اقدام به ایجاد یک افزونه برای نرم‌افزار اکسل که شامل مهمترین روابط فرآوری معدنی بوده است، کرده‌اند. این کار پژوهشی در سه مرحله انجام شد. مرحله اول، مطالعه و تحقیق به منظور جمع‌آوری روابط صحیح فرآوری مواد معدنی از مراجع معتبر بود. مرحله دوم، برنامه‌نویسی این روابط در زبان برنامه‌نویسی C# و ایجاد یک افزونه برای اضافه شدن در نرم‌افزار اکسل با رعایت کلیه اصول و قواعد این نرم‌افزار بود. در نهایت پس از آماده شدن این افزونه، در مرحله سوم، راهنمای استفاده از آن ایجاد گردید.

مهمترین نوآوری این افزونه، ایجاد یک ساختار جدید و پایدار جهت افزودن روابط فرآوری مواد معدنی در نرم‌افزار میکروسافت اکسل است. در کارهای روزمره در دانشگاه و صنعت، از اکسل هم به عنوان یک پایگاه برای ذخیره داده‌ها و هم برای انجام محاسبات استفاده می‌شود. هرچند گاهی برای استفاده از بسیاری از روابط می‌توان از نرم‌افزارهای تجاری شناخته شده نیز استفاده کرد. اما استفاده از آن نرم‌افزارها علاوه بر اینکه به اشتراک یا نسخه قفل شکسته نیاز دارد، در هر بار استفاده باید داده‌ها به صورت دستی از اکسل به این نرم‌افزارها انتقال یابد و پس از انجام محاسبات، نتایج حاصله برای ذخیره‌سازی و یا انجام مراحل بعدی محاسبات، به اکسل برگردانده شود.

تجربه نشان داده گاهی در هر انتقال داده بین نرم‌افزارهای مختلف مشکلاتی مانند جابه‌جا شدن ممیزها یا تبدیل استانداردهای مختلف مثل تبدیل مش به میکرون، تبدیل تجمعی عبوری به مانده روی سرنده و ... وجود دارد. هرچند این مشکلات و تبدیل واحدها به ظاهر ساده هستند اما انجام همین تبدیلات زمانبر بوده و سبب بروز اشتباهاتی در محاسبات می‌شوند.

لذا نوآوری اصلی در این پژوهش مجتمع شدن بخش محاسبات تخصصی فرآوری با نرم‌افزار اکسل است. این کار سادگی استفاده، سرعت بیشتر و پایداری بیشتر را به همراه دارد.

مورد دیگری که سبب شد نویسندگان مقاله به ایجاد چنین افزونه‌ای ترغیب شوند، بحث پیوستگی و خودکارسازی محاسبات بود. به عنوان مثال گاهی پیش می‌آید که برای مدلسازی یک مدار خردایش که داده‌های آزمایشی (آزمایش‌های اندازه‌گیری زمان ماند، تست‌های تابع شکست و انتخاب و ...) همه در اکسل ذخیره شده‌اند، باید چند مرحله غیرپیوسته انجام شود.

اول نتایج خام آزمایش‌ها به یک نرم‌افزار ثانویه منتقل شود. نرم‌افزارها نیز متعدد هستند، مثلاً نرم‌افزار تعیین زمان ماند، نرم‌افزار تعیین تابع شکست و انتخاب و نرم‌افزار موزانه جرم و سپس نتایجی که هر کدام از این نرم‌افزارها ارایه می‌کنند مجدداً به صورت متنی به اکسل برگردانده می‌شود. در این حالت، در اکسل ارتباط مستقیمی بین نتایج آزمایش‌ها و نتایج نرم‌افزارها وجود ندارد و همه آنان به صورت متن هستند. به عبارت دیگر تغییر در داده‌های آزمایش‌ها سبب تغییر بلافاصله نتایج در اکسل نمی‌شود.

در چنین شرایطی اگر لازم باشد در داده‌های آزمایش‌ها تغییری ایجاد شود، این تغییرات مستقیماً منجر به تغییر نتیجه نهایی نمی‌شود؛ به عبارت دیگر محاسبات پیوسته نبوده و نتایج به صورت خودکار بدست نمی‌آید و برای هر بار تغییر در داده‌های ورودی مراجعه به نرم‌افزارهای کمکی امری الزامی خواهد.

با این اقدام همه روابط و محاسبات مربوط به فرآوری مواد معدنی به صورت یکپارچه در اکسل انجام می‌شود و زمینه استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و بهینه‌سازی نظیر الگوریتم ژنتیک را فراهم می‌شود.

۲- روش انجام تحقیق

این تحقیق در سه مرحله انجام شد که شامل استخراج روابط پرکاربرد، برنامه‌نویسی و ایجاد راهنمای کاربران بود.

۲-۱- مرحله اول: استخراج روابط صحیح فرآوری مواد

معدنی

در مرحله اول معتبرترین مراجع فرآوری مواد معدنی به صورت دقیق بررسی و فهرستی از مهمترین و کاربردی ترین روابط فرآوری مواد معدنی تهیه گردید [۱۲-۱۴]. در این مرحله گاهی روابطی وجود داشتند که در منابع معتبر، دارای تفاوت‌هایی بودند. تشخیص رابطه صحیح بین روابط ارایه

نسخه منتشر شده، این افزونه شامل حدوداً ۵۰ تابع تخصصی فرآوری است. سایر توابع در بروزرسانی‌های بعدی به افزونه اضافه می‌شود. این بروزرسانی‌ها نیز در نرم‌افزار اکسل به کاربر اطلاع داده می‌شود.

۲-۲- مرحله دوم: برنامه‌نویسی افزونه

مرحله دوم این پژوهش، برنامه‌نویسی و ایجاد افزونه‌ای برای اضافه کردن این روابط به نرم‌افزار مایروسافت اکسل بود. همه نسخه‌های اکسل یک محیط برنامه‌نویسی ساده به نام VBA^۱ برای توسعه دهندگان ارائه کرده است. یکی از موارد استفاده VBA، ایجاد فرمول‌های دلخواه^۲ برای اکسل است. اما VBA برای توسعه روابط ساده و با بار محاسباتی کم کاربرد دارد. همچنین VBA محدودیت زیادی دارد؛ لذا امکان تعریف روابط پیچیده و یا روابطی که نیاز به الگوریتم‌های ویژه یا کتابخانه‌های جانبی دارد، وجود ندارد. هر چند که ابتدا برنامه‌نویسی این افزونه در VBA انجام شد ولی در نهایت کد نویسی در VBA متوقف و در زبان برنامه‌نویسی C# این کار انجام و به پایان رسید.

۲-۳- مرحله سوم: ایجاد راهنمای کاربر برای افزونه

مهمترین بخش یک نرم‌افزار تخصصی، ارائه راهنمای کاربر برای راهنمایی کاربران است. لذا در مرحله سوم توسعه این افزونه، راهنمای این افزونه به جهت همخوانی بهتر با نرم‌افزار اکسل به زبان انگلیسی ایجاد شد. سپس برای راحتی دسترسی کاربران زمینه‌ای فراهم گردید که این افزونه و راهنمای آن در پلتفرم GitHub منتشر شود.

پلتفرم GitHub بزرگترین انجمن توسعه دهندگان نرم‌افزار در جهان و یکی از محبوب‌ترین بسترهای توسعه نرم‌افزار در جهان است. GitHub به توسعه‌دهندگان اجازه می‌دهد کدهای خود را مدیریت و اشتراک‌گذاری کنند. این پلتفرم بر پایه سیستم کنترل نسخه Git ساخته شده و امکاناتی مانند مخازن^۳، شاخه‌ها^۴ و پیگیری مشکلات^۵ را در اختیار کاربران

شده یکی از بخش‌هایی مهم و زمان بر این پژوهش بود. بخش دیگری که در این مرحله انجام شد، تبدیل همه متغیرهای ورودی این روابط بر اساس سیستم یکای اندازه‌گیری بین‌المللی (SI) بود. هر چند تعداد زیادی از روابط به صورت پیشفرض بر حسب واحدهای متریک بودند ولی برای ایجاد یکنواختی، روابطی که بر حسب واحدهای امپریال بودند به متریک تبدیل شدند.

در اولین نسخه منتشر شده این افزونه سعی بر این بود که ابتدا روابط پرکاربرد فرآوری مواد معدنی به این مجموعه اضافه شود. در این راستا به تجربه فعالیت‌های صنعتی و آموزشی مراجعه گردید. با توجه به تجربه‌ای که نویسندگان در سالهای اخیر در بحث آموزش و پژوهش داشتند، روابطی که در این سالیان به طور روزمره در صنعتی و دانشگاه مورد استفاده قرار می‌گرفت، در اولویت اضافه کردن و کدنویسی قرار گرفت. به عبارت دیگر هدف اولیه این بود که به پرتکرارترین سوالات این چندساله پاسخ داده شود. بخشی از این سوالات به شکل زیر بود:

- D50 یا D80 چند است و چطور محاسبه کنم؟
- بار درگرددش را چطور محاسبه کنم؟
- کارایی جدایش را چطور حساب کنم؟
- دانسیته پالپ را چطور به درصد جامد تبدیل کنم و برعکس؟
- چقدر نمونه بگیرم؟ برای دانه‌بندی چقدر و برای عیار سنجی چقدر؟
- پرشدگی آسیا چقدر است؟ آسیای دارای سر مخروطی با سر صاف چطور؟
- سرعت آسیا بر حسب RPM را چطور به درصد تبدیل کنم و بالعکس؟
- ۴۰۰ مش (یا سایر مش‌ها) چند میکرون است؟
- اندیس باند را چطور حساب کنم؟
- و ...

لذا در اولین نسخه منتشر شده، توابعی در اولویت بود که بخش عمده‌ای از سوالات روزمره را پاسخ دهد. در اولین

^۱ Branches

^۵ Issues

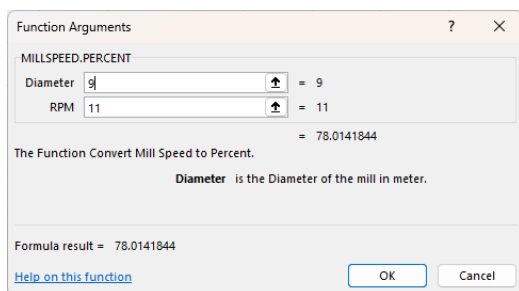
^۱ Visual Basic for Applications

^۲ User-Defined Function

^۳ Repositories

یکی از ویژگی‌هایی این افزونه که استفاده از آن را برای مهندسان ساده می‌کند وجود راهنمای گام به گام استفاده از هر رابطه است. به عنوان مثال اگر کاربر بخواهد میزان درصد سرعت آسیا را محاسبه کند، ابتدا تابع `MILLSPEED.PERCENT` را از لیست توابع انتخاب می‌کند.

سپس پنجره‌ای صورت شکل ۶ باز شده و متغیرها را از کاربر درخواست می‌کند. در قسمت زیرین آن توضیحاتی کلی در مورد این تابع درج شده و با کلیک روی هر متغیر، توضیحاتی تکمیلی در مورد آن متغیر و واحد آن نشان داده می‌شود. کاربر در صورت نیاز به توضیحات تکمیلی، با کلیک روی متن آبی رنگ پایین پنجره (`Help on this Function`) به صفحه مربوط به توضیحات این تابع در پلتفرم `GitHub` منتقل می‌شود.



شکل ۶: وارد کردن متغیرهای توابع در اکسل

یکی دیگر از راه‌های استفاده از این روابط تایپ مستقیم این روابط پس از درج کارکتر (=) در یکی از سلول‌های اکسل است. در این روش کاربر وقتی چند کارکتر اول یک تابع را تایپ کند، اکسل به صورت هوشمند نام آن تابع را کامل می‌کند. در این حالت نیز مانند حالت قبل، برای خود تابع و تک تک متغیرهای ورودی آن توضیحاتی آرایه می‌کند تا کاربر را به صورت دقیق راهنمایی کند (شکل ۹). به عبارت دیگر این ویژگی به نوعی در این افزونه گنجانده شده که بین روابط پیشفرض اکسل و روابط این افزونه هیچ تفاوتی از نظر امکانات و راهنما وجود نداشته باشد.

این افزونه هم‌اکنون در پلتفرم `GitHub` در دسترس بوده و به مرور روابطی که صحت آن اثبات شود به آن اضافه می‌شود. پس از انتشار نسخه جدیدتر، یک پیام برای کاربران ارسال شده و از انتشار نسخه جدید آنان را باخبر می‌کند.

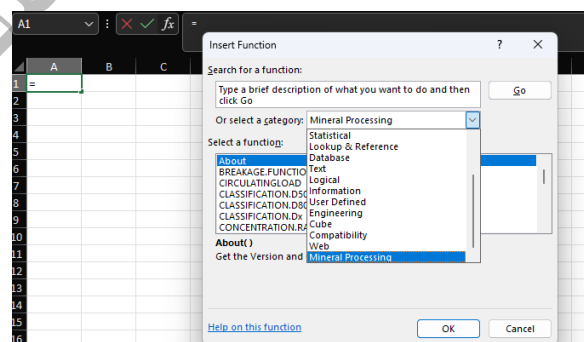
قرار می‌دهد. در سال ۲۰۱۸، شرکت مایکروسافت `GitHub` را با مبلغ حدود ۷/۵ میلیارد دلار خریداری کرد. از آن زمان، `GitHub` به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های مایکروسافت فعالیت کرده و همکاری‌های گسترده‌ای با سایر محصولات این شرکت دارد [۱۵].

۳- نتایج

پس از اتمام مراحل سه‌گانه، نتیجه کار شامل یک فایل `Mineral Processing Add-in.xll` برای ویندوزهای ۳۲ و ۶۴ بیت و یک راهنمای کاربران بود. دریافت فایل‌های افزونه و راهنمای آن در پلتفرم `GitHub` به آدرس اینترنتی زیر درج شد:

<https://github.com/Dr-Alireza-Ghasemi/mineral-processing-functions>

در این آدرس، راهنمای دانلود، نصب و بکارگیری این افزونه به طور کامل شرح داده شد. اگر نصب افزونه و پیش‌نیازهای آن به درستی انجام شده باشد، در بخش `Insert Function` اکسل در قسمت `Category` یک بخش جدید به نام `Mineral Processing` اضافه می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵: نمای بخش `Insert Function` پس از نصب صحیح افزونه `Mineral processing`

اضافه شدن این بخش به این معناست که همه روابط فرآوری تدوین شده به نرم‌افزار اکسل کاربر اضافه شده است. توابعی که تاکنون در این افزونه اضافه شده است در جدول ۱ آمده است.

خروجی و نتیجه برخی از روابط به صورت تک عدد و برخی دیگر به صورت ستونی از نتایج است. به عنوان مثال تابع `PARTICLE.SIZE.DISTRIBUTION` تابعی است که مانده روی سرند را به صورت ستونی از کاربر گرفته و نتیجه نهایی آن را به صورت ستونی از تجمعی عبوری برمی‌گرداند.

۴- نتیجه‌گیری

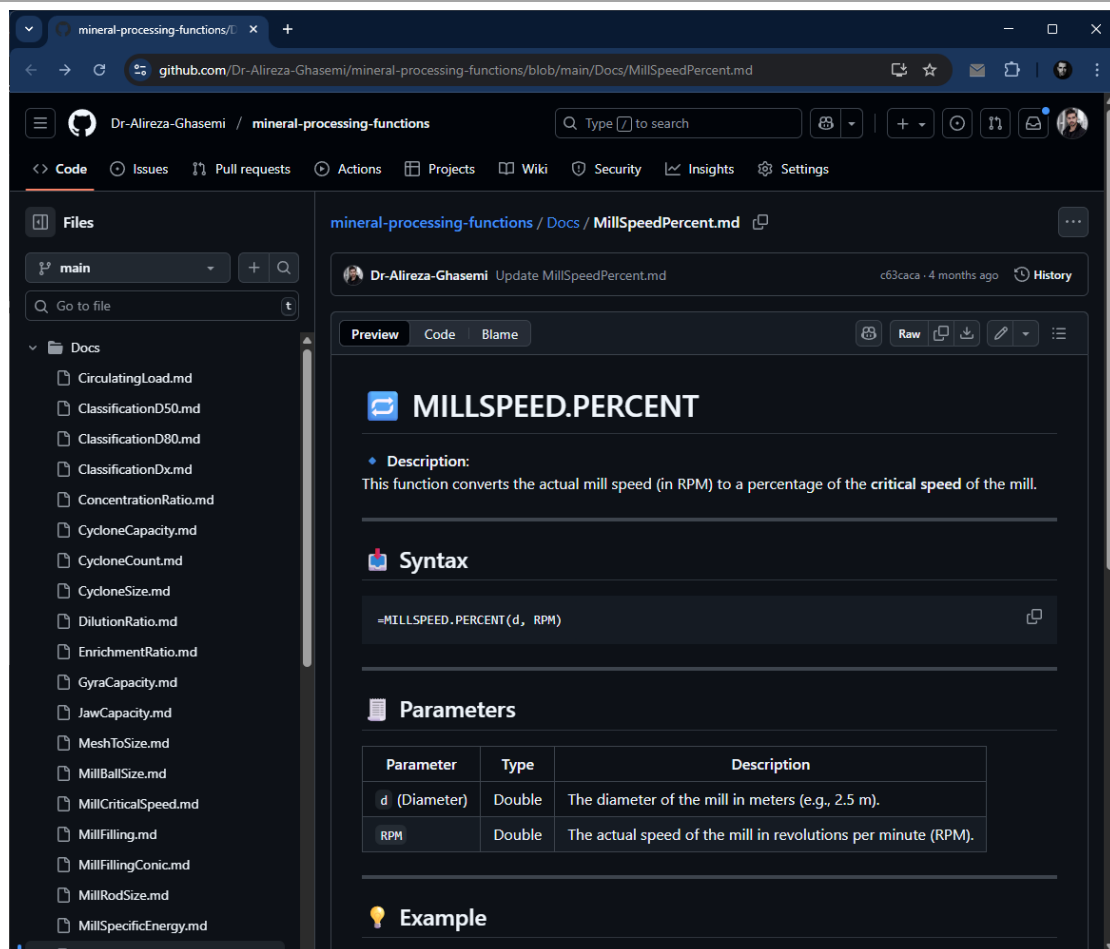
- برنامه نویسی در زبان C# به منظور اضافه کردن این روابط به صورت تابع در نرم‌افزار میکروسافت اکسل
- ایجاد راهنمای استفاده از این افزونه در اکسل برای کاربران
- در پایان این افزونه به همراه راهنمای آن در پلتفرم GitHub که متعلق به شرکت میکروسافت است، بارگذاری گردید.
- یک افزونه برای انجام ساده‌تر محاسبات فرآوری مواد معدنی برای اکسل ارایه شد. با استفاده از ابزار محاسبات پیچیده و زمان بر تخصصی بصورت خودکار و با دقت زیاد انجام می‌شود.
- ایجاد این افزونه در سه مرحله انجام گرفت:
- تحقیق و پژوهش به منظور استخراج روابط صحیح فرآوری مواد معدنی از کتب و مقالات مرجع

جدول ۱: توابع موجود در اولین نسخه منتشر شده افزونه Mineral Processing

نام تابع	شرح
CIRCULATINGLOAD	محاسبه بار در گردش
CLASSIFICATION.D50	محاسبه D50 از روی دانه بندی
CLASSIFICATION.D80	محاسبه D80 از روی دانه بندی
CLASSIFICATION.Dx	محاسبه اندازه‌ای که x درصد از مواد از آن عبور می‌کنند (x عدد دلخواه است)
CONCENTRATION.RATIO	محاسبه نسبت پرعیار شوندگی
CYCLONE.CAPACITY	محاسبه ظرفیت سیکلون
CYCLONE.COUNT	محاسبه تعداد سیکلون مورد نیاز برای مدار خردایش
CYCLONE.SIZE	محاسبه اندازه سیکلون مورد نیاز برای مدار خردایش
DILUTION.RATIO	محاسبه نسبت رقت
ENRICHMENT.RATIO	محاسبه نسبت غنی شدگی
GYRATORY.CRUSHER.CAPACITY	محاسبه ظرفیت سنگ شکن ژیراتوری
JAW.CRUSHER.CAPACITY	محاسبه ظرفیت سنگ شکن فکی
MESH.TO.SIZE	تبدیل شماره مش به اندازه بر حسب میکرون
MILL.BALL.SIZE	محاسبه اندازه گلوله مورد نیاز برای آسیای گلوله‌ای
MILL.CRITICAL.SPEED	تعیین سرعت بحرانی آسیا بر حسب RPM
MILL.FILLING	تعیین پرشدگی آسیا به روش ساده
MILL.FILLING.CONIC	تعیین پرشدگی آسیا زمانی که سر ورودی-خروجی آسیا به صورت مخروطی است
MILL.ROD.SIZE	تعیین قطر ملیه‌ها در آسیای میله‌ای
MILL.SPECIFIC.ENERGY	محاسبه انرژی مخصوص خردایش بر حسب کیلووات-ساعت بر تن
MILLSPEED.PERCENT	تبدیل سرعت آسیا از RPM به درصد سرعت بحرانی
MILLSPEED.RPM	تبدیل سرعت آسیا از درصد سرعت بحرانی به RPM
MILL.WORK.INDEX.COMPARE	تعیین اندیس کار باند آسیاکنی برای ماده مجهول به روش مقایسه‌ای
MILL.WORK.INDEX.OPERATING	تعیین اندیس کار باند آسیاکنی به روش عملیاتی بر اساس مصرف انرژی واقعی
PARTICLE.SIZE.DISTRIBUTION	محاسبه درصد تجمعی عبوری (دانه‌بندی) بر اساس داده‌های خام آزمایشگاهی
PLITT.D50	محاسبه D50 سیکلون بر اساس رابطه پلیت
PLITT.M	محاسبه M (دقت جدایش) سیکلون بر اساس رابطه پلیت
PLITT.P	محاسبه فشار سیکلون بر اساس رابطه پلیت
PLITT.S	محاسبه نسبت تقسیم (S) سیکلون بر اساس رابطه پلیت
PROPAGATION.OF.ERROR	محاسبه سرایت خطای اندازه گیری از جز اندازه‌گیری به نتیجه نهایی
PULPDENSITY.TO.MASS.SOLIDPERCENT	تبدیل دانسیته پالپ به درصدجامد وزنی
PULPDENSITY.TO.VOL.SOLIDPERCENT	تبدیل دانسیته پالپ به درصدجامد حجمی
RECOVERY.GRADE	محاسبه بازیابی بر اساس داده‌های عیاری

محاسبه بازیابی بر اساس داده‌های وزنی	RECOVERY.WEIGHT
تعیین D63 رابطه Rosin-Rammler	ROSIN.RAMMLER.D63
ایجاد دانه‌بندی بر اساس رابطه Rosin-Rammler بر اساس M و D63	ROSIN.RAMMLER.DIST
تعیین ثابت M در رابطه Rosin-Rammler	ROSIN.RAMMLER.M
تعیین ثابت‌های تعیین زمان ماند بر اساس مدل Weller	RTD.INV.WELLER
محاسبه زمان ماند برای انجام شبیه‌سازی‌های خردایش و سنتیک فلوتاسیون	RTD.WELLER
محاسبه حداقل مقدار نمونه لازم برای عیارسنجی	SAMPLE.ASSAY
محاسبه حداقل مقدار نمونه لازم برای دانه‌بندی	SAMPLE.CLASSIFICATION
محاسبه کارایی جدایش بر اساس داده‌های عیاری	SEPARATION.EFFICIENCY
محاسبه کارایی جدایش بر اساس داده‌های عیاری و وزن (روش دوم)	SEPARATION.EFFICIENCY.M
تبدیل اندازه به شماره مش‌های استاندارد	SIZE.TO.MESH
تبدیل درصد جامد به نسبت رقت	SOLIDPERCENT.TO.DILUTION.RATIO
تبدیل درصد جامد وزنی به دانسیته پالپ	SOLIDPERCENT.MASS.TO.PULPDENSITY
تبدیل درصد جامد وزنی به حجمی	SOLIDPERCENT.MASS.TO.VOL
تبدیل درصد جامد حجمی به وزنی	SOLIDPERCENT.VOL.TO.MASS
تبدیل درصد جامد حجمی به وزنی	SOLIDPERCENT.VOL.TO.PULPDENSITY

Site Analysis of Feed Feed				Site Analysis of Cyclone Overflow				Site Analysis of Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow				Site Analysis of All Cyclone Underflow			
----------------------------	--	--	--	-----------------------------------	--	--	--	------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



شکل ۸: توضیحات تکمیلی روابط در پلتفرم GitHub

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	=RECOVERY.GRADE()															
2	RECOVERY.GRADE(Grade of Concentrate, Grade of Tail, Grade of Feed)															
3	The term 'recovery' refers to the percentage of the total mineral present in the ore that is extracted into the concentrate. This function utilizes the grades of the concentrate, tail, and feed.															
4	Grade of Concentrate: is the Grade of Concentrate															
5																

شکل ۹: استفاده از روابط موجود در افزونه به روش شروع یا کارکتر (=)

[۵] S. Shamima. "From Spreadsheet to Insight: A Complete Data Science Workflow in Excel." <https://www.exceldemy.com/from-spreadsheet-to-insight-a-complete-data-science-workflow-in-excel/> (accessed).

[۶] Q. E. B. H. W. S. L. M. M. L. M. P. Carl M. Rebman Jr, "An Industry Survey of Analytics Spreadsheet Tools Adoption: Microsoft Excel vs Google Sheets," 2023. [Online]. Available: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1409034.pdf>.

[۷] L. Giuliano De. "Master New Excel Translation Features: A Quick Guide." <https://www.hubsite365.com/en-ww/crm-pages/how-to-use-the-new-translation-functions-in-excel-6cdd1383-3f64-48a7-b198-afe230838813.htm> (accessed).

[۸] E. Sean. "Microsoft Excel joins the 1 billion installs club on Android."

مراجع

[۱] G. Corey. "A Brief History of Microsoft Excel." <https://www.nobledesktop.com/classes-near-me/blog/history-of-microsoft-excel> (accessed).

[۲] P. Spreadsheet. "History of Microsoft Excel - Timeline." <https://spreadsheetplanet.com/excel/history/> (accessed).

[۳] N. Charlie. "Statistics and Data Analysis with Excel, Part 1." <https://www.coursera.org/learn/statistics-and-data-analysis-with-excel-part-1> (accessed).

[۴] S. Prof. "Microsoft Excel for Scientists and Engineers." <https://www.udemy.com/course/microsoft-excel-for-scientists-and-engineers/> (accessed).

[۱۲] B. A. Wills and J. Finch, Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. Butterworth-Heinemann, 2015.

[۱۳] R. P. King, *Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems*. Elsevier Science & Technology Books, 2001.

[۱۴] ۹۱۱"Metallurgist Blog," 2025/10/16. [Online]. Available: <https://www.911metallurgist.com/blog/>

[۱۵] C. Microsoft, "Microsoft to acquire GitHub for \$7.5 billion," 2018/06/04 2018. [Online]. Available: <https://news.microsoft.com/source/2018/06/04/microsoft-to-acquire-github-for-7-5-billion/>

<https://www.windowscentral.com/excel-joins-1-billion-installs-club-android> (accessed).

[۹] P. Tony. "Microsoft 365 vs. Office 2024: What's the Difference?" <https://www.howtogeek.com/microsoft-365-vs-office-2024-whats-the-difference/> (accessed).

[۱۰] C. Bianca. "The 11 Best Free Microsoft Excel Alternative Programs in 2025." <https://www.techrepublic.com/article/free-alternatives-to-microsoft-excel/> (accessed).

[۱۱] K. Vartika. "12 Best Microsoft Excel Alternatives & Competitors for 2025." <https://www.proofhub.com/articles/best-microsoft-excel-alternatives> (accessed).