

توسعه و پیاده‌سازی الگوریتم مدل‌سازی توان دریافتی آسیاهای نیمه خودشکن

معصومه کرد پریجائیⁱ؛ اکبر فرزانگانⁱⁱ؛ بهرام رضاییⁱⁱⁱ

چکیده

امروزه آسیاهای خودشکن و نیمه خودشکن کاربرد گسترده‌ای در خردایش کانسنگ‌های آهن، مس، طلا و سایر فلزات دارند. در دهه‌های اخیر مدل‌های ریاضی مختلفی برای پیش‌بینی عملکرد این آسیاها توسط محققان ارائه شده است. شبیه‌سازی کامپیوتری با استفاده از این مدل‌ها یکی از روش‌های معتبر پیش‌بینی توان دریافتی آسیاهاست. در این تحقیق توان دریافتی آسیاهای نیمه خودشکن شبیه‌سازی شده است که برای پیش‌بینی توان دریافتی انواع دیگر آسیاهای گردان مانند آسیاهای گلوله‌ای نیز کاربرد دارد. مدل بکار رفته بر اساس توصیف حرکت شارژ و موقعیت شانه و پاشنه در آسیا و انرژی جنبشی و پتانسیل شارژ است. این شبیه‌ساز زوایای جابجایی شانه و پاشنه شارژ، توان مورد نیاز برای گردش شارژ، توان بدون بار، توان خالص و توان کلی آسیاهای نیمه خودشکن را محاسبه می‌کند.

کلمات کلیدی

شبیه‌سازی کامپیوتری، آسیای خودشکن و نیمه خودشکن، مدل‌سازی توان دریافتی

Development and Implementation of the Algorithm of Power Draw Modeling for Semi-Autogenous Mills

M. Kord Parijaee; A. Farzanegan; B. Rezai;

ABSTRACT

Semi-Autogenous/Autogenous (SAG/AG) mills are used widely in iron, copper, gold and other minerals grinding. In recent decades, several mathematical models were presented by various mineral processing researchers for predicting the performance of these mills. Computer simulation using these models is one of the validated techniques for predicting of mills power draw. In this work power draw of SAG mills was simulated which is also applicable for predicting the power draw in other types of tumbling mills such as ball mills. This model is based on describing of charge motion and the position of toe and shoulder of charge in the mill and charge kinetics and potential energy. This simulator computes toe and shoulder angles of charge, power requirement for tumbling charge, no-load power, net power and total power of SAG mills.

KEYWORDS

Computer simulation, Semi-Autogenous/Autogenous mill, Power draw modeling

ⁱ دانشجوی دکتری فرآوری مواد معدنی گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی دانشگاه تهران: Email: kordparijae@gmail.com

ⁱⁱ استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی دانشگاه کاشان: Email: a.farzanegan@kashanu.ac.ir

ⁱⁱⁱ استاد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر: Email: rezai@cic.aut.ac.ir



نیمه‌خودشکن

Austin با استفاده از آسیاهای نیمه‌خودشکن با نسبت قطر به طول زیاد در آمریکای شمالی و با نسبت طول به قطر زیاد در آفریقای جنوبی و کشورهای اسکاندیناوی، معادله‌هایی برای توسعه یک مدل عمومی و شبیه‌سازی این آسیاها ارائه کرد [۵]. با این فرض که گلوله‌ها و سنگ در حالتی قفل شده از ته آسیا به بخش فوقانی آن حرکت می‌کنند و شارژ حرکت ایده‌آلی دارد، انرژی پتانسیل و جنبشی برای آن محاسبه شد و با استفاده از آن رابطه (۱) بدست آمد [۵]:

$$m_p = KD^{3.5}(L/D)(1-AJ) \quad (1)$$

$$\left[(1-\varepsilon_B)J(\rho_S/W_C) + 0.6J_B(\rho_b - \rho_S/W_C) \right]$$

$$\phi_C \left(1 - \frac{0.1}{2^{9-10\phi_C}} \right)$$

که در آن:

m_p : توان خالص آسیای نیمه‌خودشکن

K : ثابت

D : قطر داخلی آسیا

L : طول آسیا

J : درجه انباشتگی شارژ (کسری از حجم آسیا که با شارژ پر می‌شود)

J_B : کسری از حجم آسیای استوانه‌ای که تنها با گلوله پر می‌شود

ε_B : تخلخل شارژ کلی

W_C : کسر وزنی سنگ به سنگ و آب در آسیا

ρ_S : دانسیته متوسط سنگ

ρ_b : دانسیته گلوله

ϕ_C : کسری از سرعت بحرانی

ابعاد برحسب متر، دانسیته‌ها برحسب تن متریک بر متر مکعب و توان خالص آسیا بر حسب کیلو وات است. معادله یاد شده تنها برای $J_B > J$ بکار می‌رود. مقدار K توسط مقایسه با توان واقعی آسیا در شرایط باردهی معین تعیین می‌شود [۵].

با فرض تخلخل موثر شارژ ε_B برابر 0.3 و محتوی کسری جامد در آسیا $W_C \approx 0.8$ مقدار K برابر $10/6$ و مقدار A برابر $1/0.3$ برای آسیاهای نیمه‌خودشکن (با تصحیح اضافی برای انتهای مخروطی) صحیح می‌باشد [۵].

$$m_p = 10.6D^{2.5}L(1-1.03J) \quad (2)$$

$$\left[(1-\varepsilon_B)(\rho_S/W_C)J + 0.6J_B(\rho_b - \rho_S/W_C) \right]$$

$$(\phi_C) \left(1 - \frac{0.1}{2^{9-10\phi_C}} \right)$$

آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن به دلیل کاهش در هزینه‌های عملیاتی و اصلی و نیز افزایش توان عملیاتی کارخانه‌ها مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند [۱]. در پی استفاده گسترده از این آسیاها، تمایل زیادی به روش‌های پیش‌بینی کارایی این دستگاه‌ها بوجود آمده است. مدل‌سازی و شبیه‌سازی ریاضی، روشی معتبر برای ارزیابی توسعه مدارهای خریدار و افزایش مقیاس از نیمه صنعتی و بهینه‌سازی عملیات صنعتی است [۲].

مدل‌سازی و شبیه‌سازی قادر به پیش‌بینی توان عملیاتی و توان دریافتی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن است که پاسخ مدار خریدار به تغییرات نوع کانسنگ را پیش‌بینی و نیز به توسعه استراتژی‌های بهینه‌سازی کمک می‌کند تا بر تغییرات زیان آور پیش‌بینی نشده غلبه نماید [۳].

در آسیاها، توان دریافتی بر مبنای حرکت و مقدار شارژ استوار است، بنابراین کاهش ابعاد به علت حرکت شارژ در آسیا است. به‌ویژه در آسیاهای گلوله‌ای، این توان دریافتی بمقدار زیادی مستقل از شرایط بار اولیه و مقدار کاهش ابعاد است. بنابراین مدل‌سازی توان دریافتی آسیا می‌تواند بدون مراجعه به کاهش ابعاد صورت گیرد. تنها باید حرکت شارژ مدنظر قرار گیرد [۴].

تئوری جابجائی مواد در کوره‌های چرخشی توسط بسیاری از محققان ارائه شد [۴]. با استفاده از این تئوری، حرکت ایده‌آل شارژ در آسیا توسعه یافته است [۴]. مروری بر مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که مدلی عمومی و پذیرفته شده برای توان دریافتی آسیاهای نیمه‌خودشکن وجود ندارد. Austin با توجه به حرکت ایده‌آل شارژ، معادلاتی برای محاسبه انرژی جنبشی و پتانسیل آن ارائه کرد [۴].

در سال‌های اخیر به دینامیک حرکت شارژ برای توصیف مدل‌های توان دریافتی آسیاها توجه شده است. Mishra و Rajamani در سال ۱۹۹۰ از روش‌های اجزا گسسته برای یافتن موقعیت و سرعت گلوله‌های منفرد در آسیاهای گردان استفاده کردند و آن را به توان دریافتی ارتباط دادند. این روش کامپیوتری، بینشی کمی را برای درک فرایندهایی که در یک آسیا رخ می‌دهد فراهم می‌کند [۴]. Morrell در سال ۱۹۹۶ با استفاده از برخی فرضیات ساده کننده درباره حرکت شارژ، روابط ریاضی ساده‌ای را برای توان دریافتی آسیا ارائه کرد [۴].

ϕ = کسر تئوری سرعت بحرانی در آسیای درحال کار

حرکت شارژ

سرعت ذرات در شارژ نسبت به سرعت پوسته آسیا و موقعیت‌های شعاعی ذرات نسبت به شعاع آسیا بیان می‌شود. بنابراین جفتی از داده‌ها تولید می‌شود که یک سرعت نرمالایز شده (V_n) و یک موقعیت شعاعی نرمالایز همراه را تشکیل دهد. در نتیجه [۴]:

$$R_n = \frac{r}{r_m} \quad (9)$$

$$V_n = \frac{V_r}{V_m} \quad (10)$$

r = موقعیت شعاعی (متر)

r_m = شعاع آسیا در سطح سایش خطی پوسته آسیا (متر)

V_r = سرعت مماسی در r

V_m = سرعت مماسی در سطح سایش خطی پوسته آسیا.

۲-۲- توصیف ریاضی پروفیل سرعت

سرعت مماسی (V_r) در موقعیت شعاعی معین (r) برحسب نرخ چرخشی (N_r) با استفاده از معادله زیر بیان می‌شود [۴]:

$$N_r = \frac{V_r}{2\pi r} \quad (11)$$

با استفاده از رابطه خطی ساده بین سرعت مماسی و موقعیت شعاعی نرمالایز شده و بیان سرعت برحسب نرخ چرخشی، رابطه (۱۲) نتیجه می‌شود [۴]:

$$N_r = \frac{N_m r_m (r - z r_i)}{r(r_m - z r_i)} \quad (12)$$

$$z = (1 - J_i)^{0.4532} \quad (13)$$

r_i = شعاع سطح داخلی شارژ که مرز بین بخش فعال شارژ و گرده آغیرفعال را مشخص می‌کند (متر)

r_m = شعاع آسیا (متر)

۲-۳- معادلات توان دریافتی

حال با بدست آوردن توصیفی ریاضی از سرعت و شکل شارژ و تغییر آن با سرعت آسیا و حجم بار، معادلات توان دریافتی آسیا بیان می‌شود. از آنجا که توان به عنوان انرژی بر واحد زمان تعریف می‌شود، بنابراین نرخ انرژی جنبشی و پتانسیلی که به شارژ منتقل می‌شود، تخمینی از توان دریافتی آسیا خواهد بود. ثابت می‌شود که توان خالص آسیا از معادله (۱۴) محاسبه می‌شود [۴]:

$$P_{net} = \frac{\pi g L \rho_c N_m r_m}{3(r_m - z r_i)} \{2r_m^3 - 3z r_m^2 r_i + r_i^3 (3z - 2)\} \quad (14)$$

$$\{(\sin \theta_s - \sin \theta_r)\} + L \rho_c \left\{ \frac{N_m r_m \pi}{(r_m - z r_i)} \right\}^3 \{(r_m - z r_i)^4 - r_i^4 (z - 1)^4\}$$

که در آن:

L : طول آسیا (متر)

ρ_c = دانسیته شارژ خردایش (تن متریک بر متر مکعب)

معادله (۱۴) برای آسیاهای با تخلیه شبکه‌ای قابل کاربرد است. برای آسیاهای با تخلیه سرریزی (آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای)، اثر حوضچه دوغاب باید در نظر گرفته شود. حضور حوضچه دوغاب در آسیای سرریزی به کاهشی در توان دریافتی آسیا در مقایسه با واحد با تخلیه شبکه‌ای با همان ابعاد منجر می‌شود. با لحاظ کردن این اثر، با افزودن یک عبارت شناوری به معادله (۱۴) معادله (۱۵) بدست می‌آید که هم آسیاهای شبکه‌ای و هم سرریزی را توصیف می‌کند [۴]:

$$P_{net} = \frac{\pi g L N_m r_m}{3(r_m - z r_i)} \{2r_m^3 - 3z r_m^2 r_i + r_i^3 (3z - 2)\} \quad (15)$$

$$\{\rho_c (\sin \theta_s - \sin \theta_r) + \rho_p (\sin \theta_T - \sin \theta_{TO})\}$$

$$+ L \rho_c \left\{ \frac{N_m r_m \pi}{(r_m - z r_i)} \right\}^3 \{(r_m - z r_i)^4 - r_i^4 (z - 1)^4\}$$

ρ_p = دانسیته دوغاب (تن متریک بر متر مکعب)

θ_{TO} = زاویه پاشنه دوغاب:

برای آسیاهای با تخلیه سرریزی $\theta_{TO} = 2/390$ رادیان

برای آسیاهای با تخلیه شبکه‌ای: $\theta_{TO} = \theta_T$

برای بخش مخروطی انتهای آسیا نیز مانند روشی مشابه با توان دریافتی بخش استوانه‌ای، معادله (۱۶) برای آسیاهای با تخلیه شبکه‌ای و سرریزی بدست می‌آید [۴]:

$$P_C = \frac{\pi g L_d N_m}{3(r_m - r_i)} \{r_m^4 - 4r_m r_i^3 + 3r_i^4\} \quad (16)$$

$$\{\rho_c (\sin \theta_s - \sin \theta_r) + \rho_p (\sin \theta_T - \sin \theta_{TO})\}$$

$$+ \frac{2\pi^3 N_m^3 L_d \rho_c}{5(r_m - r_i)} (r_m^5 - 5r_m r_i^4 + 4r_i^5)$$

که در آن:

L_d = طول انتهای مخروطی (متر)

مقدار سه متغیر r_i (شعاع سطح داخلی شارژ)، ρ_c (چگالی

شارژ)، ρ_p (چگالی پالپ) باید قبل از ارزیابی معادلات مشخص

باشد [۴].

الف) سطح داخلی شارژ (r_i)

سطح داخلی شارژ، حد شعاعی بخش فعال شارژ را تعریف می‌کند که توسط فاصله شعاعی‌اش از محور چرخش (r_i) ارائه می‌شود. اگر موقعیت مکانی پاشنه و شانه مشخص باشد، r_i از هندسه ساده به صورت رابطه (۱۷) بدست می‌آید [۴]:

$$r_i = r_m \left(1 - \frac{2\pi\beta J_i}{2\pi + \theta_s - \theta_T} \right)^{0.5} \quad (17)$$

β بخش فعال شارژ به صورت کسری از شارژ کلی است. این کسر متناسب با زمانی است که مواد در بخش فعال شارژ سپری می‌کنند نسبت به زمان صرف شده برای تکمیل یک مدار از کل شارژ [۴]:

$$\beta = \frac{t_c}{t_f + t_c} \quad (18)$$

که در آن:

t_c = زمان میانگین صرف شده برای حرکت بین پاشنه و شانه داخل بخش فعال شارژ

t_f = زمان میانگین صرف شده برای حرکت بین پاشنه و شانه در سقوط آزاد

t_c و t_f به صورت رابطه (۱۹) تقریب زده می‌شوند.

$$t_c = \frac{2\pi - \theta_T + \theta_s}{2\pi\bar{N}} \quad (19)$$

که نرخ چرخش متوسط (\bar{N}) برابر است با:

$$\bar{N} = \frac{N_m}{2} \quad (20)$$

$$t_f = \left[\frac{2F(\sin\theta_s - \sin\theta_T)}{g} \right]^{0.5} \quad (21)$$

که موقعیت متوسط شعاعی (\bar{r}) برابر است با:

$$\bar{r} = \frac{r_m}{2} \left[1 + \left(1 - \frac{2\pi J_i}{2\pi + \theta_s - \theta_T} \right)^{0.5} \right] \quad (22)$$

با جایگذاری معادلات (۱۸) تا (۲۲) در معادله (۱۷)، r_i تخمین زده می‌شود [۴].

ب) دانسیته شارژ و پالپ

دانسیته شارژ با استفاده از معادلات (۲۳) و (۲۴) تخمین

زده می‌شود [۴].

$$\rho_C = \frac{[J_i \rho_0 (1-E+EU) + J_B (\rho_B - \rho_0) (1-E) + J_i EU (1-S)]}{J_i} \quad (23)$$

که در آن:

E = تخلخل کسری شارژ

S = محتویات کسری جامد (حجمی) دوغاب تخلیه

U = کسر تخلخل واسطه خردایش که با دوغاب پر شده است

در غیاب داده‌ها برای E ، S و U ، به ترتیب مقادیر آنها ۰/۴،

۰/۵ و ۱ در نظر گرفته می‌شود. دانسیته پالپ داخل آسیا (ρ_p) برابر با دانسیته پالپ تخلیه فرض می‌شود [۴].

معادلات فوق توصیفی تئوری از توان دریافتی همراه با حرکت شارژ داخل آسیا را ارائه می‌کند. در عمل، باید توان بیشتری فراهم شود تا بر تلفات و مصرف‌کننده‌های انرژی مکانیکی، الکتریکی و سایر غلبه کند. با افزودن این‌ها به توان همراه با حرکت شارژ، توان دریافتی کلی یا ناخالص بدست می‌آید [۴]. برای پیش‌بینی توان دریافتی نهایی، این تلفات باید به توان خالص افزوده شوند. بنابراین معادله دیگری نیاز می‌شود که این تلفات را به ابعاد آسیا و سرعت آسیا ارتباط دهد. معادله توان بدون بار^۲ پیشنهاد شده توسط Morrell در سال ۱۹۹۶ برای این هدف استفاده شد [۶].

$$(24) \quad \text{توان حرکت شارژ} \times k + \text{توان بدون بار} = \text{توان ناخالص}$$

توان ناخالص = توان ورودی به موتور، یعنی توان اندازه‌گیری شده

توان بدون بار = توان ورودی به موتور زمانیکه آسیا خالی است

توان حرکت شارژ = توان همراه با حرکت شارژ

توان حرکت شارژ $\times k$ = توان خالص

توان خالص = توان کلی ورودی به شارژ

k = پارامتری که تلفات گرمایی بواسطه اصطکاک داخلی، انرژی برای شکست فرسایشی/سایشی و چرخش واسطه خردایش بعلاوه بی‌دقتی همراه با فرضیات و اندازه‌گیری‌های حرکت و شکل شارژ را به حساب می‌آورد. این پارامتر با استفاده از پایگاه داده‌های توان آسیای صنعتی JKMR در سال ۱۹۸۸ برآزش شد و مقدار آن ۱/۲۶ بدست آمد [۴].

۲-۳-۱- توان بدون بار

تفاوت بین توان دریافتی ناخالص و خالص در یک آسیا بواسطه تلفات همراه با اجزاء گوناگون الکتریکی و مکانیکی است. تلفات عمده در موتور، دنده‌ها و یاتاقان‌ها اتفاق می‌افتد. در اغلب کارخانه‌های عملیاتی، تنها داده‌های توان ناخالص و یا جاری اندازه‌گیری می‌شوند. گاهی توان بدون بار در هنگام راه‌اندازی آسیا بعد از آسترگذاری جدید، ثبت می‌شود. چنین داده‌هایی بزرگی برخی از اجزاء اتلاف توان را نشان می‌دهد [۴]. بین توان بدون بار (kW) و پارامترهای طراحی آسیا رابطه‌ای تجربی به صورت رابطه (۲۵) توسعه داده شده است [۴]:

$$(25) \quad \text{توان بدون بار} = 1.68(D^{2.5}\varphi(0.667L_d + L))^{0.82}$$

با استفاده از مدل‌ها، توان دریافتی آسیاهای نیمه‌خودشکن شبیه‌سازی کامپیوتری می‌شود.

۳- شبیه‌سازی کامپیوتری توان دریافتی آسیاهای

نیمه‌خودشکن

شبیه‌سازی توان دریافتی آسیاهای نیمه‌خودشکن در محیط برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک دات نت^۴ کدنویسی شده و به عنوان نرم‌افزاری مستقل عمل می‌کند. کلیه توابع و محاسبات موردنیاز در برنامه، نوشته شده و کاربر تنها با وارد کردن داده‌های خام موردنیاز و کلیک روی دکمه فرمان نتایج را مشاهده خواهد کرد. بنابراین نسبت به نرم‌افزارهای محاسباتی دیگر مانند Excel این مزیت را دارد که نیاز به وارد کردن روابط و انجام برخی محاسبات پیچیده و تکراری توسط کاربر نخواهد داشت. استفاده از آن بسیار ساده و تنها نیازمند شناخت مفهوم پارامترها است.

محیط برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک مزیت‌هایی نسبت به سایر زبان‌های برنامه‌نویسی دارد. این زبان برنامه‌نویسی، ساده، آسان و قدرتمند است. با آن می‌توان برنامه‌های کاربردی بر پایه ویندوز را توسعه داد. یادگیری آن بسیار آسان‌تر از سایر زبان‌های برنامه‌نویسی مانند ویژوال سی پلاس پلاس^۵ است. مواردی که ممکن است برنامه‌نویسی با سایر زبان‌ها مشکل باشد، در ویژوال بیسیک به آسانی انجام می‌شود. این زبان بسیار مردم‌پسند است. بنابراین، منابع بسیار خوبی مانند کتاب، وب سایت، گروه‌های خبری و غیره موجود است که به یادگیری آن کمک می‌کند. در مقایسه با سایر زبان‌ها ویژوال بیسیک گستره زیادی از ابزارها را دارد که می‌توان از اینترنت بارگذاری و در برنامه‌نویسی استفاده کرد. تعدادی از زبان‌های برنامه‌نویسی برپایه متن هستند و به کاربر اجازه استفاده از گرافیک را نمی‌دهند اما ویژوال بیسیک گرافیک پایه است و کاربر به‌طور مستقیم با گرافیک کار می‌کند. زبان بر پایه گرافیک می‌تواند برای توسعه سریع برنامه ویندوز استفاده شود [۷-۸].

الگوریتم شبیه‌سازی توان دریافتی آسیاهای نیمه‌خودشکن با استفاده از مدل‌های یاد شده طراحی و بر اساس آن شبیه‌سازی تولید شد (شکل ۳). در این شبیه‌سازی ابتدا مشخصات و داده‌های ابعادی و نوع تخلیه آسیا از کاربر گرفته شده، سپس

جابجایی زاویه‌ای شانه و پاشنه و بعد از آن اجزاء توان آسیا محاسبه می‌شود. با استفاده از داده‌های مثال زیر این شبیه‌سازی و کار آن توصیف می‌شود [۴].

قطر داخل آسترها: ۸ متر

طول طبله^۶ داخل آسترها: ۴ متر

طول خط مرکزی داخل آسترها: ۶ متر

قطر یاتاقان^۷ داخل آسترها: ۲ متر

کسر سرعت بحرانی: ۰/۷۲

سرعت آسیا: ۱۰/۷۷ rpm

دانسیته کانسنگ: ۲/۷۵ g/cm³

وزن مخصوص گلوله: ۷/۸ g/cm³

درصد حجمی جامد در تخلیه: ۴۵/۹

درجه انباشتگی کسری کلی آسیا: ۰/۳۵

درجه انباشتگی کسری گلوله آسیا: ۰/۱۰

مکانیزم تخلیه: شبکه‌ای

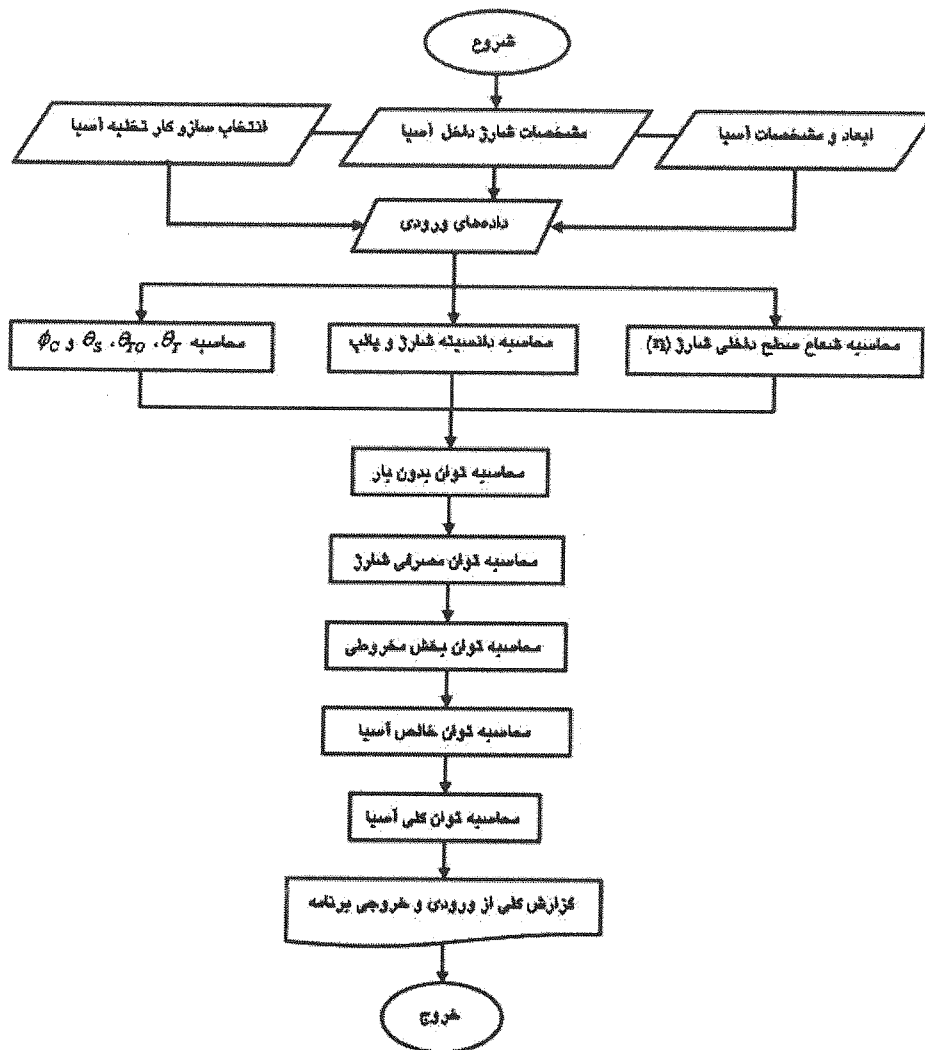
برخی صفحاتی که کاربر با اجرای برنامه شبیه‌سازی می‌بیند

در شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه می‌شود.

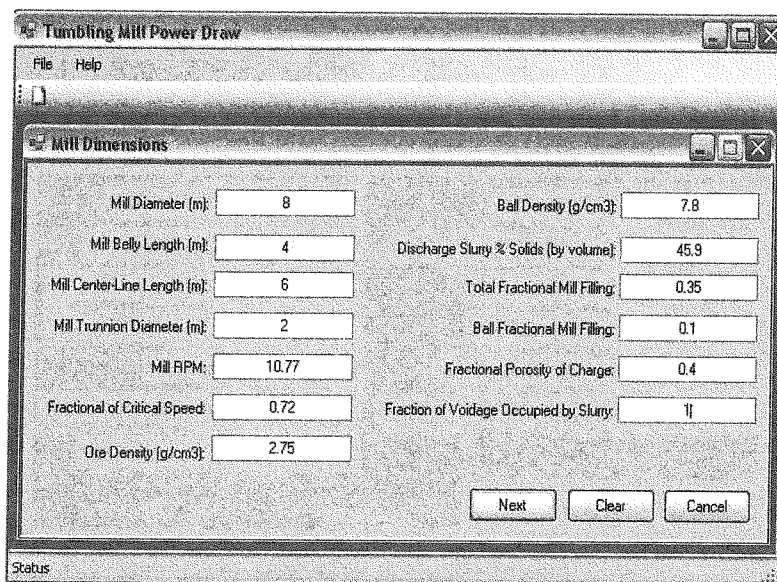
۴- نتیجه‌گیری

با توجه به کاربرد روزافزون آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن در صنعت خردایش مواد معدنی به ویژه در معادن سنگ آهن و مس کشور (مثل معادن چادرملو، گل گهر، چغارت، مس سرچشمه و میدوک)، در کار حاضر شبیه‌سازی کامپیوتری توان دریافتی این نوع آسیاها توسعه یافت. در این مقاله مدل‌های پیش‌بینی و محاسبه توان دریافتی آسیاها برای توسعه نرم‌افزار شبیه‌سازی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از این مدل‌ها و با توجه به حرکت شارژ در آسیا این شبیه‌سازی تهیه شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی، با نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده واقعی [۴] مقایسه شد (جدول ۱). با توجه به جدول تطابق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی شده و مثال بکار رفته، وجود دارد که نشان دهنده پیاده‌سازی صحیح الگوریتم برنامه، درستی انجام محاسبات توسط نرم افزار توسعه یافته و دقت و صحت شبیه‌سازی است.

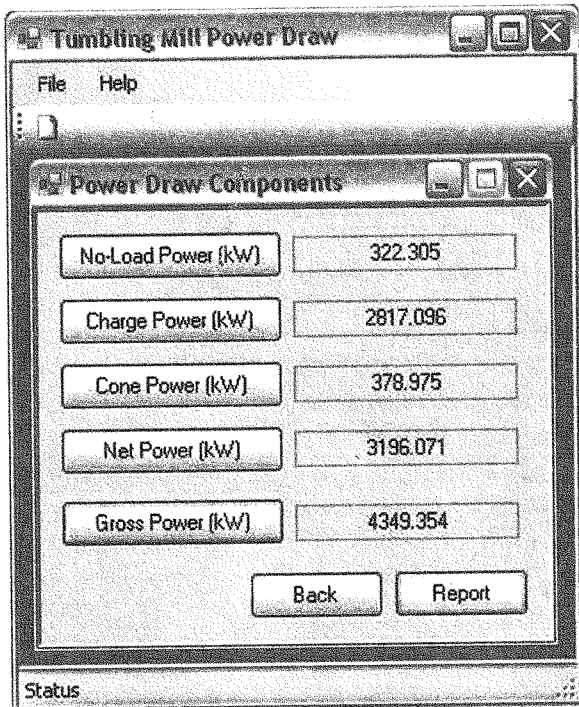




شکل ۳- الگوریتم شبیه‌ساز آسیاهای نیمه‌خودشکن



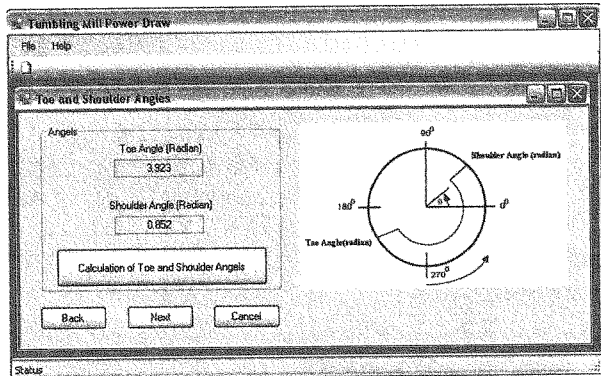
شکل ۴- گرفتن ابعاد آسیا از کاربر



شکل ۶- محاسبه اجزای توان آسیا

جدول ۱- نتایج حاصل از شبیه‌ساز و مثال

عنوان	شبه سازی	مثال
زاویه پاشنه (radian)	۳/۹۲۳	۳/۹۲۰
زاویه شانه (radian)	۰/۸۵۲	۰/۸۵۲
توان بدون بار (kW)	۳۲۲/۳۱	۳۲۲
توان حرکت شارژ (kW)	۲۸۱۷/۱	۲۸۰۹
توان بخش مخروطی (kW)	۳۷۸/۹۷	۳۷۸
توان خالص (kW)	۳۱۹۶/۰۷	۳۱۸۷
توان ناخالص (kW)	۴۳۴۹/۳۶	۴۳۲۸



شکل ۵- محاسبه زوایای پاشنه و شانه

۵- مراجع

- [۴] Napier-Munn, T.J.; Morrell, S.; "The prediction of power draw in crushers and tumbling mills" In: "Mineral comminution circuite", JKMR, 1999.
- [۵] Austin, L.G.; "A mill power equation for SAG mills", Minerals & metallurgical processing, 1990.
- [۶] Morrell, S.; "A new Autogenous and Semi-Autogenous mill model for scale-up, design and optimization", Minerals engineering, vol. 17, p.p. 437-445, 2004.
- [۷] http://www.ctp.bilkent.edu.tr/~ctp108/ctp108_in_w1.pdf
- [۸] http://ljs.academidirect.org/A09/125_136.htm
- [۱] Banisi, S.; Hadizadeh, M.; "3-D liner wear profile measurement and analysis in industrial SAG mills", Minerals Engineering, vol. 20, p.p. 132-139, 2007.
- [۲] Delboni Jr., H.; Morrell, S.; "A load-interactive model for predicting the performance of Autogenous and Semi-Autogenous mills", KONA, No. 20, 2002.
- [۳] Morrell, S.; "Predicting the specific energy of Autogenous and Semi-Autogenous mills from small diameter drill core samples", Minerals engineering, vol. 17, p.p. 447-451, 2004.

۶- زیر نویس

- 1 - Slurry pool
- 2 - Kidney
- 3 - No-loaded power
- 4 - VB.Net
- 5 - Visual C++
- 6 - Belly length
- 7 - Trunnion