استفاده از ماشینهای حساب الکترونیک
دربهره برداری بهتر از آبهای زیر زمینی

توسط

دکتر مهندس مصطفی مزینّی

استاد تأسیسات آبی

مقدمه

بهره برداری ازآبهای زیرزمینی توسط چاه وتلمبه درسالهای اخیر درکشور ما توجه خاص و عام را بخود جلب کرده سرمایه گذاری دراین زمینه روزبروز زیادتر میشود. بدیهی است دریک حالت کلی درمنطقه محدودی که در آن چاههای متعددی موجود است حفرهرچاه جدید واستفاده ازآن موجب پائین رفتن سطح آب چاههای موجود وبالا رفتن مخارج کلی پمپاژ این چاهها خواهد شد.

ضمناً درمقابل این ضرر که بدیگران وارد میشود حفرچاه جدیداستفاده‌ای برای مالک آن خواهد داشت. از نظر اقتصادی برای مجموع اشخاصی که دراین منطقه زندگی میکنند حفرچاه جدید درصورتی صلاح است که : اولاً استفاده این چاه از ضرر آن کمتر نباشد و ثانیاً با در نظرگرفتن یک نرخ بهره مناسب برای پول نسبت منافع حاصله (با درنظرگرفتن ضررهای ناشیه) ازحفر چاه به‌مخارج آن درمدت بهره‌برداری با مقایسه با سایر امکانات ازنظر سرمایه گذاری حداکثر باشد.

باین ترتیب برای دادن جواز حفرهرچاه جدیدی بلافاصله‌مسئله تأثیراین چاه روی چاههای‌موجود مطرح میشود وتا درجه این تأثیر مطالعه نشود جامعه نمیتواند بطور دانسته درباره حفریا عدم حفرچاههای جدید تصمیم لازم اتخاذ نماید.

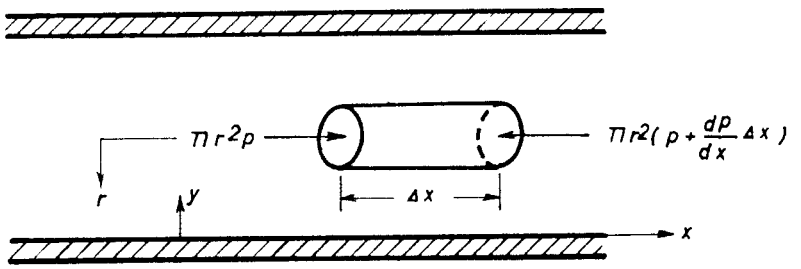
از طرف دیگر مطالعه این تأثیر با وسائل معمولی خودکاری دشوار است که وقت زیادی میگیرد و مخارج هنگفتی را ایجاب مینماید بقسمی که اخذ تصمیم درباره شروع چنین مطالعه یک بررسی مقدماتی دیگری لازم خواهد داشت. باینجهت است که درکشور ما تا بحال ازطرفی بعلت محدود بودن چاههای موجود وازطرف دیگر بعلت اشکالات مطالعه تأثیر چاهها روی یکدیگر ترتیب رضایتبخشی برای دادن‌جواز حفرچاهها معمول نگشته‌است وحتی درسایرکشورها هم‌ترتیبات معمول‌ازنظر علمی کاملاً موردقبول‌نیست.

غرض از نگارش این سطور برداشتن گامی به جلو و نشان دادن راهی است که با توسعه و تعمیم

بتواند مبنای اخذ تصمیم دانسته درباره این رشته از کارهای عمرانی کشور باشد.

معادله Poiseuille درمورد جریان آرام آب در یک لوله

جریان آب در زیرزمین اصولاً جریانی است آرام. درمورد جریان آرام آب درلوله ها برای بدست آوردن منحنی نمایش تغییرات سرعت دریک مقطع بطوریکه میدانیم کافیست که معادله تعادل دینامیک را برای یک استوانه بسیار کوچک یا المان آب که در وسط لوله فرض میشود بنویسیم:



$$\pi r^2 p - \pi r^2\left(p + \frac{dp}{dx}\Delta x\right) - 2\pi r \Delta x \tau = 0$$

$$\tau = -\frac{dp}{dx}\cdot\frac{r}{2} \qquad (I)$$

که درآن p فشارمایع و τ تلاش برشی است. این تلاش برشی که دراثرلزجت آب (μ) بوجود می‌آید وازرابطه

$$\tau = \mu\frac{dv}{dy} = -\mu\frac{dv}{dr}$$

تبعیت می کند یک تنش داخلی است که درمقابل تغییر شکل سیال هنگام حرکت مقاومت می‌نماید.

مقدار τ از محور بطرف جدار زیاد میشود بطوریکه:

$$\begin{cases} r = 0 \\ \tau = 0 \end{cases} \qquad \begin{cases} r = r_o \\ \tau = \tau_o = -\dfrac{dp}{dx}\cdot\dfrac{r_o}{2} \end{cases}$$

بنا برمراتب فوق خواهیم داشت:

$$\tau = -\frac{dp}{dx}\cdot\frac{r}{2} = -\mu\frac{dv}{dr}$$

و یا

$$\frac{dv}{dr} = \frac{dp}{dx}\cdot\frac{r}{2\mu}$$

که در نتیجه

$$v = \frac{dp}{dx}\cdot\frac{r^2}{4\mu} + C$$

از طرف دیگرمیدانیم لغزش درداخل سیال نمیتواند وجود داشته باشد زیرا دراینصورت τ بینهایت میشود بنابراین سرعت سیال در روی جدار صفر است:

$$\begin{cases} r = r_o \\ v = 0 \\ C = -\dfrac{dp}{dx} \cdot \dfrac{r_o^2}{4\mu} \end{cases}$$

ومیتوانیم بنویسیم :

$$v = -\frac{1}{4\mu} \cdot \frac{dp}{dx}(r_o^2 - r^2) \qquad \text{(II)}$$

که معاله یک پارابولوئید دوار بوده تغییرات سرعت را در جریان آرام دریک مقطع از لوله نشان میدهد .
با درنظرگرفتن شکل هندسی این پارابرلوئید میتوان سرعت متوسط را دریک مقطع بدست آورد:

$$V = \frac{1}{2} v_{max} = -\frac{dp}{dx} \cdot \frac{r_o^2}{8\mu}$$

وچون $D = 2r_o$ می‌باشد می‌توانیم بنویسیم:

$$-\frac{dp}{dx} = \frac{32\mu V}{D^2}$$

محاسبه انتگرال‌این معادله دیفرانسیل بین دومقطع ۱ و ۲ افت‌فشار $p_1 - p_2$ را درطول $x_2 - x_1$ بدست‌میدهد .

$$p_1 - p_2 = \frac{32\mu VL}{D^2} \qquad \text{(III)}$$

این معادله معروف بمعادله Poiseuille می‌باشد که آن را بحسب ارتفاع نظیر افت فشار میتوان بصورت زیر نوشت :

$$h_f = 32\frac{\mu VL}{\gamma D^2} \qquad \text{(IV)}$$

معادله دارسی درمورد جریان آرام آب درزیر زمین

اگر یک نمونه خاك را در نظرگرفته فرض کنیم در آن «N» سوراخ وجود داشته باشد که هریک بمساحت «a» بوده دبی «q» را از خود عبور دهد بقسمی که دبی کل $Q = Nq$ بشود دراینصورت با درنظر گرفتن اینکه $D^2 = \frac{4a}{\pi}$ و $\gamma = \rho g$ (γ وزن مخصوص و ρ جرم مخصوص آب است) و لزجت کینماتیک $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ وشیب خط انرژی $i = \frac{h_f}{L}$ میباشد خواهیم داشت :

$$V = \frac{\gamma D^2}{32\mu} \cdot \frac{h_f}{L} = \frac{\gamma D^2}{32\mu} \cdot i$$

$$q = Va = \frac{\rho g D^2}{32\mu} \cdot i \cdot a = \frac{4g}{32\frac{\mu}{\rho}\pi} \cdot i \cdot a^2$$

ویا :

$$q=\frac{g}{8\pi\nu}\cdot i\cdot a^2$$

و

$$Q=Nq=\frac{g}{8\pi\nu}\cdot i\cdot Na^2$$

حال اگر سطح مقطع کل نمونه خاك مورد نظر را «A» وحجم کل واحد طول نمونه را «∀» فرض کنیم:

$$A=A\text{ پر}+A\text{ خالی}$$

$$\forall=\forall\text{ پر}+\forall\text{ خالی}$$

که اگر در دو واحد طول ضرب کنیم :

و

$$\text{ضریب تخلخل}=e=\frac{\forall\text{ خالی}}{\forall\text{ پر}}=\frac{A\text{ خالی}}{A\text{ پر}}=\frac{Na}{A-Na}$$

و یا

$$Na=\frac{eA}{1+e}$$

که در نتیجه :

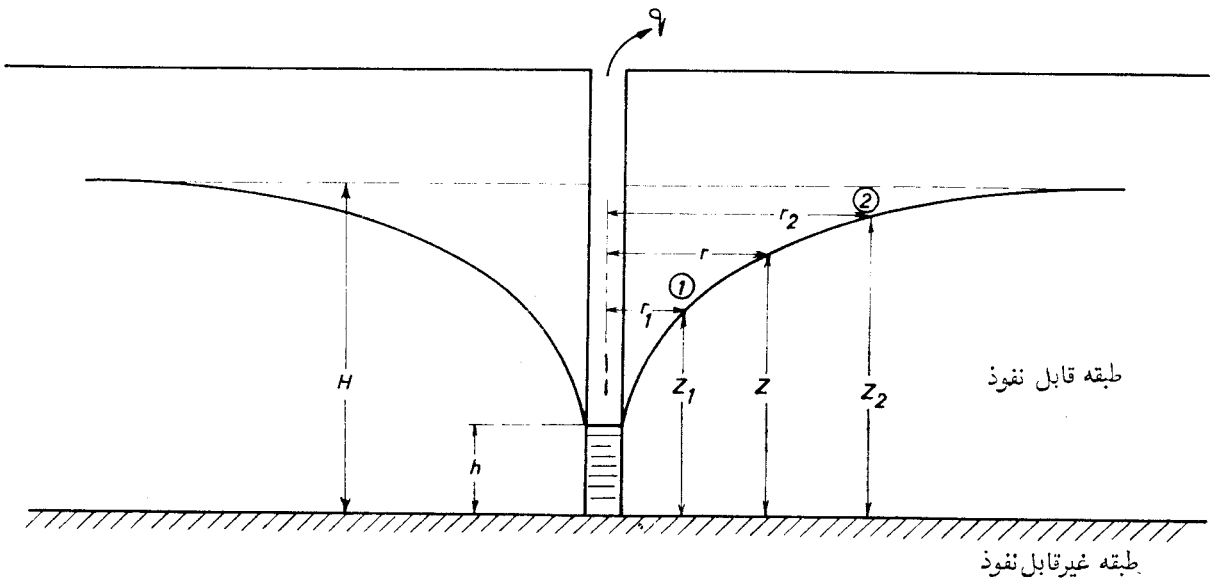
$$Q=\frac{g}{8\pi\nu}\cdot i\cdot\frac{eA}{1+e}\cdot a$$

$$=\left[\frac{g}{8\pi\nu}\cdot\frac{e}{1+e}a\right]iA$$

اگر مقدار داخل داخل کرشه را به K نمایش دهیم :

$$\boxed{Q=KiA} \qquad (V)$$

که بمعادله دارسی مشهور است.



بدیهی است سرعت متوسط یا مؤثر v_d که از رابطه $v_d=\frac{Q}{A}=Ki$ بدست می‌آید سرعت حقیقی نیست وسرعت حقیقی یا سرعت ذرات آب v_s را میتوان از رابطه زیر بدست آورد :

$$v_s=\frac{1+e}{e}v_d$$

درمعادله دارسی ضریب نفوذ K همان واحدهای سرعت‌را داراست ومقدار تقریبی آن برای شن 10^{2} و برای ماسه 10^{-2} وبرای خاك رس 10^{-8} سانتیمتر در ثانیه است.

جریان آب در زیرزمین بطرف یک چاه

درصورتیکه دبی q از چاهی مطابق شکل برای مدت زیادی گرفته شود سطح آب مخروطی شکل شده مآلاً وضع ثابتی بخود خواهد گرفت.

اگرفرض کنیم شیب خط انرژی برای هرنقطه ازسطح آب که عملاً مساوی ضریب زاویه مماس برسطح آب در آن نقطه است در امتداد خط قائمی که از آن نقطه گذشته باشد ثابت می‌ماند مطابق معادله دارسی میتوانیم بنویسم :

$$q = KiA$$

ویا برای استوانه‌ای بمحور چاه و شعاع r :

$$q = K\frac{dZ}{dr}2\pi rZ$$

که میتوانیم آنرا اینطور بنویسیم :

$$\frac{q}{2\pi K}\int\frac{dr}{r} = \int ZdZ$$

و یا

$$\frac{q}{2\pi K}\ln r = \frac{Z^{2}}{2} + C$$

ویا در نظرگرفتن اینکه عملاً شعاع تأثیر چاه محدود است ودرفاصله‌معینی از چاه مثلاً R اندازه Z مساوی H میشود خواهیم داشت :

$$\begin{cases} r = R \\ Z = H \\ C = \dfrac{q}{2\pi K}\ln R - \dfrac{H^{2}}{2} \end{cases}$$

که در نتیجه:

$$\frac{q}{\pi K}\ln\frac{R}{r} = H^{2} - Z^{2} \qquad \text{(VI)}$$

با استفاده ازاین معادله میشود مقدار متوسط ضریب نفوذ K را اندازه گرفت باین ترتیب که دو نقطه 1 و 2 روی خط نمایش سطح آب انتخاب کرده با حفر دو چاه کمانه و اندازه گیری سطح آب در این نقاط اعماق Z_1 و Z_2 را مشخص میکنند و چون دبی چاه اصلی و فاصله چاههای کمانه تا چاه اصلی معلوم است K را از رابطه زیر میشود بدست آورد :

$$\frac{q}{\pi K}\ln\frac{r_1}{r_2} = Z_2^{2} - Z_1^{2}$$

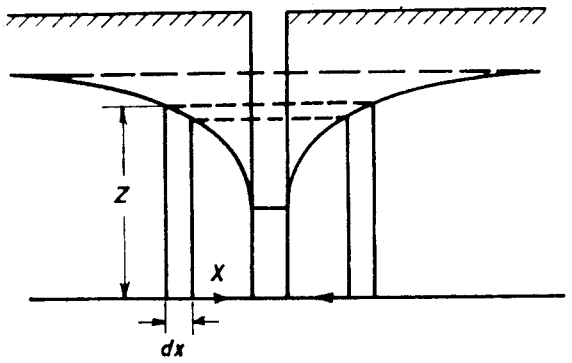
درصورتیکه مقادیر r_1 و r_2 نسبتاً بزرگ باشد مقدار K که از رابطه فوق حساب میشود نماینده مقدارمتوسط ضریب نفوذ درامتداد افقی خواهد بود.

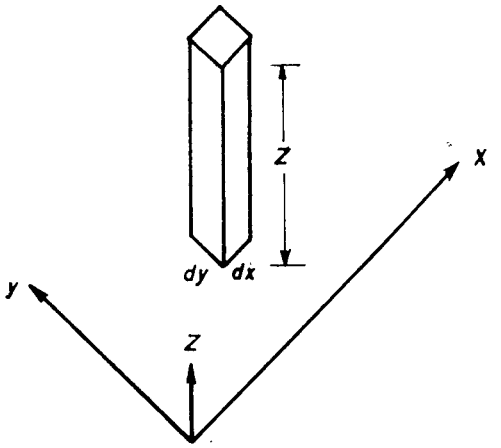
معادله (VI) با آنکه تقریبی است اغلب برای برآورد عمق h آب در چاه بکار میرود. چون وقتی

r مساوی r_o یعنی شعاع چاه باشد . بطور تقریب میتوان گفت که $Z=h$ میشود و معادله VI مقدار h را بدست خواهد داد :

$$h=H^2=\frac{q}{\pi k}\ln\frac{R}{r_o} \qquad \text{(VII)}$$

تأثیر چاهها روی هم





یک المان خاك را بطوری که در شکل نشان داده شده در نظر میگیریم و معاده دوام جریان را برای آن می‌نویسیم :

$$\begin{cases} i_x=\dfrac{\partial z}{\partial x} \\ \\ i_y=\dfrac{\partial z}{\partial y} \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_x=K\dfrac{\partial z}{\partial x}zdy=\dfrac{1}{2}Kdy\dfrac{\partial(z^2)}{\partial x} \\ \\ q_{x+dx}=q_x+\dfrac{\partial q_x}{\partial x}dx \end{cases}$$

ومقدار آبیکه در جهت x وارد این المان شده است مساویست با :

$$\frac{\partial q_x}{\partial x}dx=\frac{1}{2}Kdy\frac{\partial^2(z^2)}{\partial x^2}dx$$

وبهمین ترتیب مقدار آبیکه درجهت y وارد این المان شده است مساویست با :

$$\frac{\partial q_y}{\partial y}dy=\frac{1}{2}Kdx\frac{\partial^2(z^2)}{\partial y^2}dy$$

وبرای دوام جریان یعنی برای اینکه همان مقدار آب که وارد این المان شده ازآن خارج شده باشد باید:

$$dq=\frac{\partial q_x}{\partial x}dx+\frac{\partial q_y}{\partial y}dy=o$$

و یا با در نظر گرفتن مقادیر $\frac{\partial q_x}{\partial x}dx$ و $\frac{\partial q_y}{\partial y}dy$ باید :

$$\frac{\partial^2(z^2)}{\partial x^2}+\frac{\partial^2(z^2)}{\partial y^2}=0 \qquad \text{(VIII)}$$

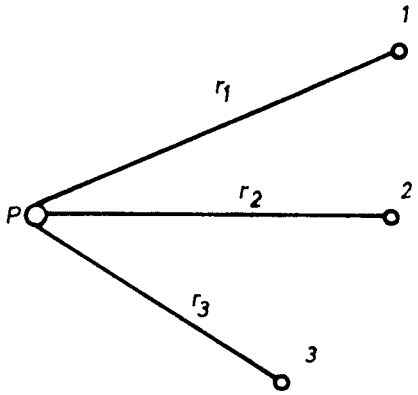
بطوریکه میدانیم اگر Z_1^2 و Z_2^2 و Z_3^2 و غیره در انتگرال این معادله دیفرانسیل صادق باشند دراینصورت عبارت :

$$Z^2=Z_1^2+Z_2^2+Z_3^2+\cdots\cdots+\text{مقدار ثابت}$$

نیز دراین انتگرال‌صادق خواهد بود یعنی‌یکی ازجوابها میباشد. برای پیدا کردن مقادیر Z_1^2 و Z_2^2 و Z_3^2 فرض کنیم سه چاه ۱ و ۲ و ۳ که فواصل آنها ازچاه P مورد نظر r_1 و r_2 و r_3 است روی این‌چاه اثرمیکنند:

برای یک چاه بطوریکه میدانیم (طبق معادله VI) :

$$Z^2=H^2-\frac{q}{\pi k}\ln\frac{R}{r}$$



حال اگر Z_1 و Z_2 Z_3 بترتیب نمایش‌مقدار Z در P دراثر کشیدن دبی های q_1 و q_2 و q_3 از چاههای ۱ و ۲ و۳ باشند و k را هم ثابت فرض کنیم خواهیم داشت:

$$\begin{cases} Z_1^2=H^2-\frac{q_1}{\pi k}\ln\frac{R}{r_1} \\ Z_2^2=H^2-\frac{q_2}{\pi k}\ln\frac{R}{r_2} \\ Z_3^2=H^2-\frac{q_3}{\pi k}\ln\frac{R}{r_3} \end{cases}$$

وبا درنظرگرفتن :

$$Z^2=Z_1^2+Z_2^2+Z_3^2+\text{مقدارثابت}$$

میتوانیم بنویسیم:

$$Z^2=3H^2-\Sigma\frac{q}{\pi k}\ln\frac{R}{r}+\text{مقدار ثابت} \qquad \text{(XI)}$$

ولی وقتی $r=R$ باشد $Z=H$ خواهد بود بنابراین :

$$H^2=3H^2+\text{مقدار ثابت}$$

$$\text{مقدار ثابت}=-2H^2$$

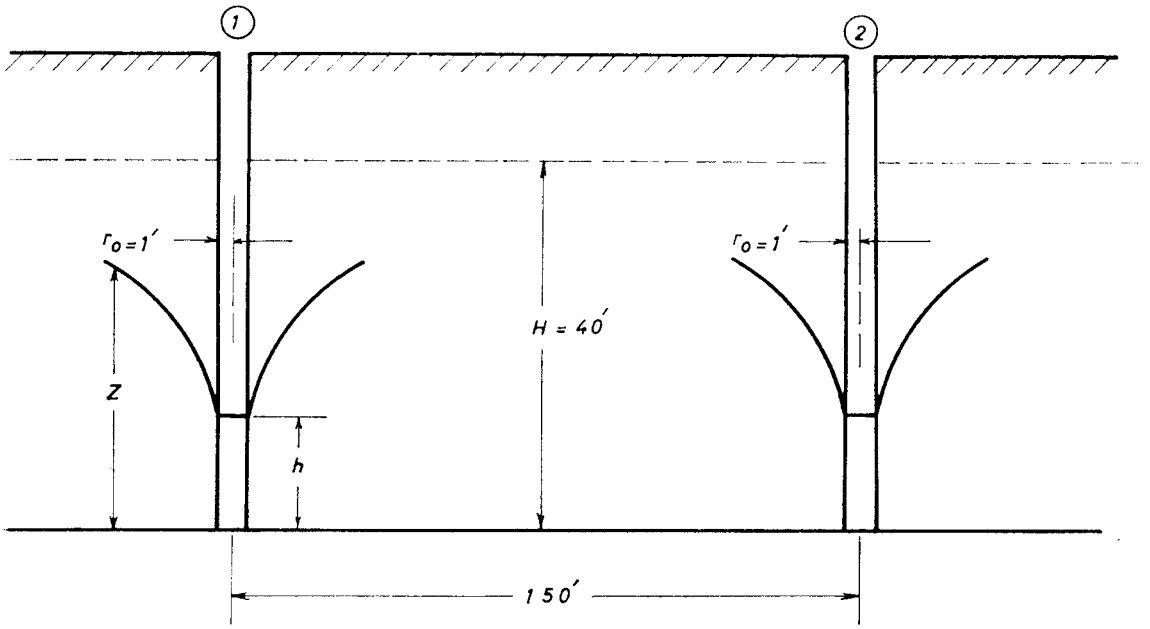
که با قراردادن آن در معادله (IX)نتیجه میشود :

$$Z^2=H^2-\Sigma\frac{q}{\pi k}\ln\frac{R}{r} \qquad \text{(X)}$$

باین ترتیب برای‌تعیین Z باید ابتدا مقدار (Z^2) را توسط معادله (X) بدست آورد.

مثال

فرض کنیم دوچاه هریک بعمق ٤٠ پا از سطح آب در یک طبقه قابل نفوذ حفرشده ودراین عمق بیک طبقه خاك رس رسیده است ضریب نفوذ زمین $k=500\times10^{-4}$ سانتیمتر در ثانیه است. فاصله دو چاه ١٥٠ پا بوده ازهریک مرتباً ٣٠ گالن دردقیقه آب کشیده میشود میخواهیم سطح نهائی آب زیر زمینی را با رسم خطوط تراز این سطح بدست آوریم.



برای هرچاه :

$$Z^2=H^2-\frac{q}{\pi k}\ln\frac{R}{r}$$

$$k=500\times10^{-4}\ {}^{cm}/_{sec}=1000\times10^{-4}\ {}^{ft}/_{min}=16.67\times10^{-4}\ \text{fps.}$$

$$q=300\text{gpm}=0.668\ {}^{ft3}/_{sec}.$$

$R=2000$ ft. فرض کنیم شعاع تأثیر هرچاه مثلاً ٢٠٠٠ پا باشد

وقتی فقط یکی از چاهها کار میکند برای بدست آوردن $Z=h$ کافیست $r=r_o=1$ قرار دهیم که دراینصورت :

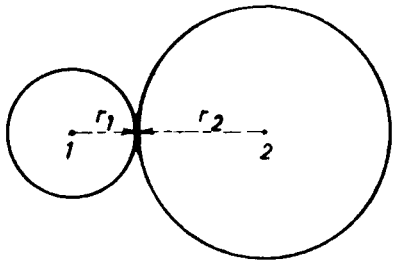
$$Z^2=1600-\frac{0.668}{3.14(16.67\times10^{-4})}\ln\frac{2000}{1}=1600-970=630\text{ft}^2$$

$$\frac{q}{\pi k}=127.8$$

$$Z=25.03\ \text{ft.}$$

ولی وقتی هردوچاه کار میکند :

$$Z^2 = H^2 - \Sigma \frac{q}{\pi k} \ln \frac{R}{r}$$

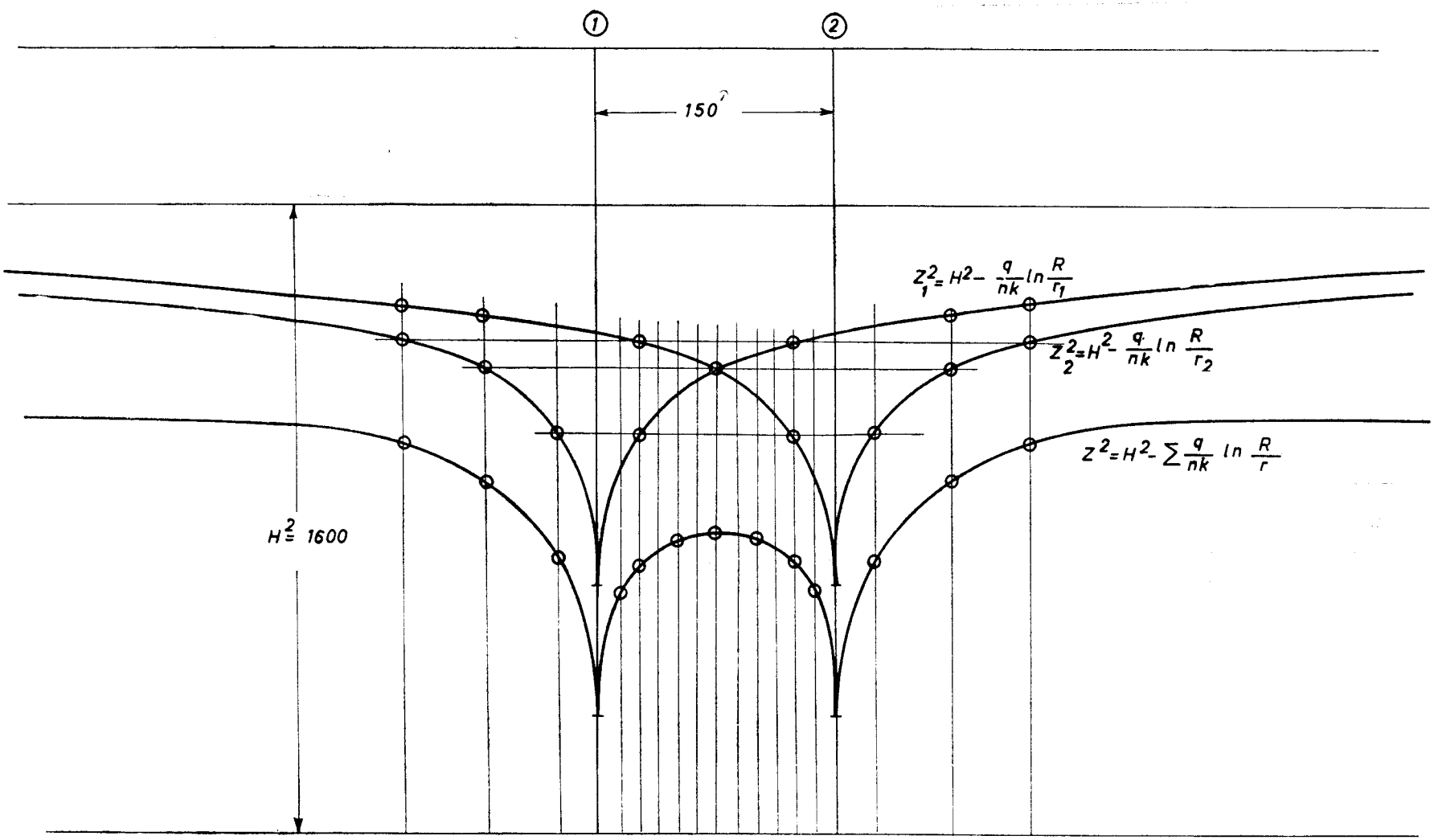


$\begin{cases} r_1 \\ r_2 \end{cases}$	$\ln \frac{R}{r}$	$\frac{q}{\pi k} \ln \frac{R}{r}$	$\Sigma \frac{q}{\pi k} \ln \frac{R}{r}$	Z^2	Z
1	7.60	970	1299	301	17.3
149	2.58	329			
5	5.98	766	1100	500	22.3
145	2.62	334			
10	5.30	676	1016	584	24.2
140	2.66	340			
25	4.38	560	914	686	26.2
125	2.77	354			
50	3.69	471	854	746	27.3
100	3.00	383			
75	3.28	418	836	764	27.6
75	3.28	418			
100	3.00	383	854	746	27.3
50	3.69	471			
125	2.77	354	914	686	26.2
25	4.38	560			
145	2.62	334	1100	500	22.3
5	5.98	766			
1	2.58	329	1299	301	17.3
149	7.60	970			

برای ترسیم خطوط ترازسطح نهائی آب کافیست برای هرچاه مقادیر :

$$H^2 - Z^2 = \frac{q}{\pi k} \ln \frac{R}{r}$$

را محاسبه وآنها را با هم جمع کنیم تا $\Sigma \frac{q}{\pi k} \ln \frac{R}{r}$ و از روی آن Z^2 و سپس Z برای حالت کلی که هردوچاه کار میکنند بدست آید:



منحنی‌های نمایش مقادیر Z^2

$$H^2-Z^2=\frac{q}{\pi k}\ln\frac{R}{r}=127.8(\ln R-\ln r)=970-127.8\ln r$$

$$\ln r=\frac{970-(H^2-Z^2)}{127.8}$$

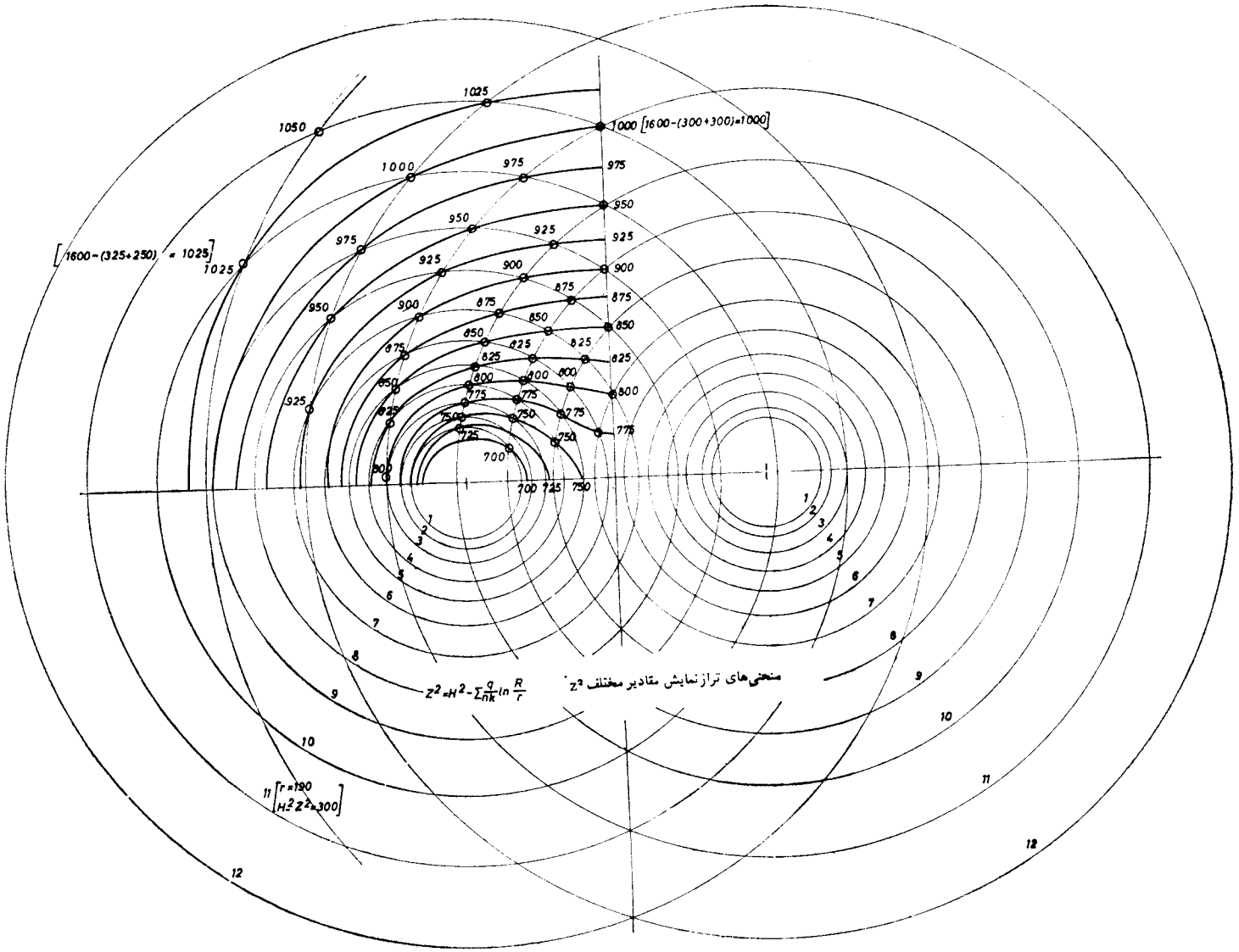
$$Z^2=H^2-(H^2-Z^2)=1600-(H^2-Z^2)$$

No.	H^2-Z^2	$970-(H^2-Z^2)$	lnr	r	Z^2
1	550	420	3.29	26.8	1050
2	525	445	3.48	32.5	1075
3	500	470	3.68	40.0	1100
4	475	495	3.88	48.4	1125
5	450	520	4.07	58.5	1150
6	425	545	4.26	71.0	1175
7	400	570	4.46	86.0	1200
8	375	595	4.66	106.0	1225
9	350	620	4.85	128.0	1250
10	325	645	5.05	156.0	1275
11	300	670	5.25	190.0	1300
12	275	695	5.44	230.0	1325
13	250	720	5.63	280.0	1350

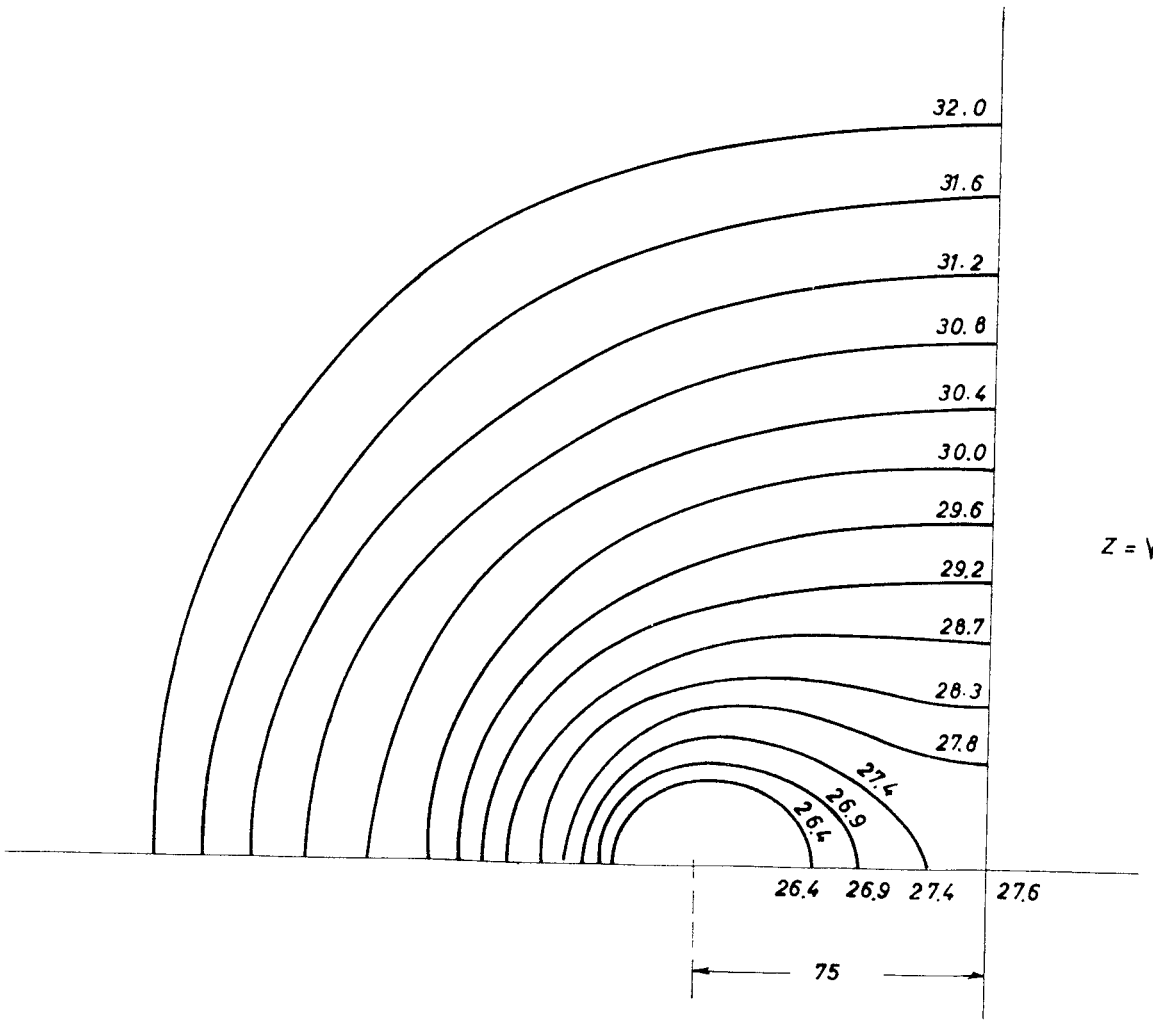
وقتی هردوچاه مشغول کار هستند :

$$Z^2=H^2-\Sigma(H^2-Z^2)=1600-\Sigma(H^2-Z^2)$$

Z^2	Z	Z^2	Z
1025	32.0	850	29.2
1000	31.6	825	28.7
975	31.2	800	28.3
950	30.8	775	27.8
925	30.4	750	27.4
900	30.0	725	26.9
875	29.6	700	26.4


1025
1050
1000 [1600-(300+300)=1000]
1000
975
975
950
950
925
925
900
900
875
875
850
850
825
825
800
800
775
775
750
750
725
700
[1600-(325+250) = 1025]
1025
975
950
925
900
875
850
825
800
775
750
725
700
700 725 750
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
11 [r=190 H=2 Z=2=300]
$z^2 = H^2 - \sum \frac{q}{hk} \ln \frac{R}{r}$
منحنی‌های تراز نمایش مقادیر مختلف z^2

با در دست داشتن Z^2 میتوان تصویر افقی خطوط تراز سطح نهائی آب زیر زمینی را رسم نمود.



منحنی‌های تراز سطح نهائی آب زیر زمینی

استفاده ازماشینهای حساب الکترونیک

بطوریکه در مثال مذکور دیدیم حتی برای حالتی که فقط دو چاه روی هم اثر میکنند محاسبات طولانی است ووقت زیادی میگیرد. برای اینکه در کارووقت صرفه‌جوئی شده دقت محاسبات هم تادرجهٔ دلخواه بالا برود میتوان ازماشینهای سریع الکترونیک برای انجام این محاسبات استفاده نمود. دراینصورت بطوریکه نشان داده میشود پس ازنوشتن دستور العمل کوچکی برای ماشین میتوان درمدتی کمتراز دو دقیقه نه تنها تعداد زیادتری نقاط را روی منحنی‌های ترازپیدا کرد بلکه از ماشین خواست که تصویر افقی این نقاط را روی صفحه‌ای که با محور های مختصات x و y مشخص شده است نشان بدهد.

برای اینکار فرض کنیم محورهای مختصات را کارتزین وطوری انتخاب کرده‌ایم که محور x روی

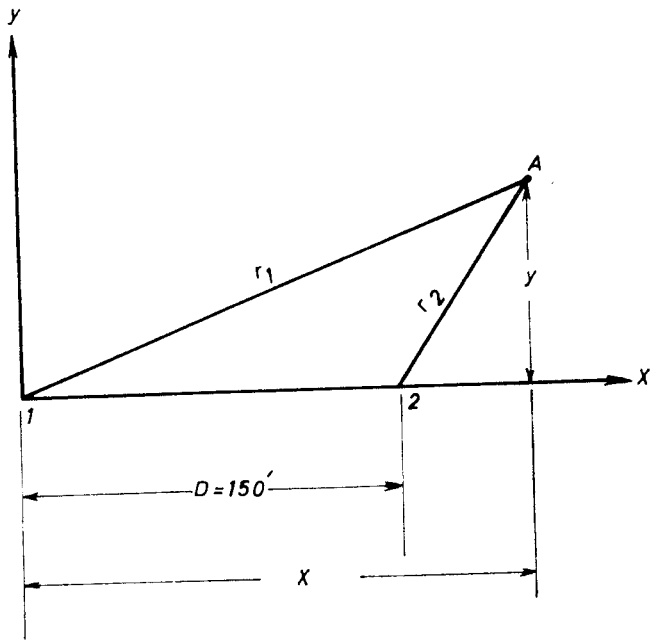
طبقه غیرقابل نفوذ درکف چاه قرار گرفته از محور دو چاه میگذرد ومحورZ در امتداد محور یکی از چاهها قرار دارد .

نحوه عمل بطورکلی اینست که پس از انتخاب محور های کارتزین مختصات مقادیر Z را که میخواهیم برای آنها منحنی‌های تراز رسم شود بطور دلخواه انتخاب میکنیم و بماشین میدهیم و از ماشین میخواهیم که برای مقادیرمختلف داده شده x اندازه y را بازاء مقادیرمشخص‌شده Z پیدا نموده نقاط (x و y) را روی صفحه xy نشان بدهد.

برای اینکه ماشین بتواند بدون اشکال دستورات را اجرا کند باید این دستورات واضح بوده بزبانی که برای ماشین قابل فهم باشد بماشین ابلاغ شود. زبانی که ما برای مکالمه باماشین درنظر گرفته‌ایم زبانی است بنام «مد» که برای کارهای مهندسی مناسب‌تر است.

برای اینکه ماشین بتواند محاسبه‌ای را انجام دهد باید عواملی که برای این محاسبه لازم است قبلاً بماشین داده شده باشد.

فرض کنیم برای Z معین میخواهیم مقادیر مختلف y را بازاء مقادیر مختلف x پیدا کنیم :



$$r_1^2 - x^2 = r_2^2 - (x-D)^2$$

$$r_1^2 = r_2^2 - D^2 + 2Dx$$

برای سهولت هرجا لازم باشد عبارات را با ضرایب C_1 و C_2 وغیره مینمائیم .

$$2Dx - D^2 = C_1$$

$$r_1^2 = r_2^2 + C_1$$

$$r_1 = \sqrt{r_2^2 + C_1}$$

$$Z^2 = H^2 - \Sigma \frac{q}{\pi k} \ln \frac{R}{r}$$

$$Z^2 = H^2 - \frac{q}{\pi k}(\ln R - \ln r_1 + \ln R - \ln r_2)$$

$$Z^2 = H^2 - \frac{2q}{\pi k} \ln R + \frac{q}{\pi k} \ln r_1 r_2$$

$$\frac{q}{\pi k} \ln r_1 r_2 = Z^2 - H^2 + \frac{2q}{\pi k} \ln R$$

$$\frac{2q}{\pi k} \ln R - H^2 = C_2$$

$$\ln r_1 r_2 = (Z^2 + C_2) \frac{\pi k}{q}$$

که اگر بجای r_1 مقدار آنرا قرار دهیم خواهیم داشت:

$$\ln r_2 \sqrt{r_2^2 + C_1} = (Z^2 + C_2) \frac{\pi k}{q}$$

$$(Z^2 + C_2) \frac{\pi k}{q} = C_3$$

$$e^{C_3} = r_2 \sqrt{r_2^2 + C_1} = C_4$$

$$r_2^2 (r_2^2 + C_1) = C_4^2$$

$$(r_2^2)^2 + C_1 (r_2^2) - C_4^2 = 0$$

$$r_2^2 = \frac{-C_1 + \sqrt{C_1^2 + 4C_4^2}}{2} = C_5$$

$$\boxed{y = \sqrt{r_2^2 - (x-D)^2} = \sqrt{C_5 - (x-D)^2}}$$

حال میتوانیم مقادیر معلوم را بماشین بدهیم:

$D = 150$

$Q = 0.668$

$\pi = PI = 3.14$

$k = 0.001667$

و ازماشین بخواهیم که $\frac{q}{\pi k} = 127.8$ رادقیق ترحساب کرده‌بازاءمثلاً $Z = 30$ و $x = 0$ مقادیر C_1 و C_2 و C_3 و C_4 و C_5 و سپس y را حساب نماید:

$$C_1 = -150^2 = -22500$$

$$C_2 = 2(127.8)(7.6) - 1600 = 1940 - 1600 = 340$$

$$C_3=(C_2+30^2)\frac{1}{127.8}=(340+900)\frac{1}{127.8}=9.72$$

مقدار دقیق‌تر C_3 بطوریکه درمحاسبات ماشینی دیده میشود 9.716676 می‌باشد .

با دقت معمول بدون ماشین:

$$C_4=e^{9.72}=16410$$

که مقدار دقیق‌تر آن توسط ماشین 16592 داده شده است.

$$C_5=\frac{+22500+\sqrt{(22500)^2+4(16410)^2}}{2}=31120$$

که مقدار دقیق‌تر آن توسط ماشین 31296.37 داده شده است.

$$y=\sqrt{31120-22500}=\sqrt{8620}=93\text{ft.}$$

مقدار دقیق‌تر y توسط ماشین 93.788960 داده شده است.

برای اینکه تا حدودی حجم عملیاتی که ماشین انجام داده است نشان داده شده باشد از ماشین خواسته‌شده که ضرایب C_1 و C_2 و C_3 و C_4 و C_5 وهمچنین اندازه y های مربوطه راکه معمولاً تا خاتمه عملیات درحافظه نگاه میدارد تاشش‌رقم‌اعشارچاپ نموده تحویل بدهد. ولی از نظر سهولت قرائت خواسته شده مقادیر y را درمقابل x و Z درجداول فقط تا دو رقم اعشار ثبت بکنند.

دستور یا برنامه‌ایکه بزبان «مد» برای ماشین نوشته شده ونتایج عملیاتی که ماشین طبق‌این‌دستور انجام داده درصفحات بعد مندرج است.

در آخر عملیات از ماشین خواسته شده که تصویر افقی نقاط پیدا شده را در روی صفحه xy نشان بدهد. بطوریکه مشاهده میشود ماشین درترسیم این نقاط محدودیتی دارد باین ترتیب که نمیتواند همیشه نقاط را بطور دقیق درمحل واقعی خود نشان بدهد و بایستی نزدیکترین محلی را بمحل اصلی که برایش قرارداشتن نقطه میسرباشد پیدا کرده نقطه‌را درآن محل بگذارد. این‌محدودیت تولید اشکالی نمی‌نمایدزیرا فاصله نقطه مرسوم تا نقطه‌حقیقی کوچک بوده با یک‌دید میتوان منحنی‌تراز واقعی‌را بدون اشکال‌رسم‌نمود.

WELL INTERFERENCE PROBLEM

06/06/63 909

§COMPILE MAD, EXECUTE, DUMP, PRINT OBJECT

MAD, (12 MAR 1962 VERSION) PROGRAM LISTING... ... ...

```
                    WELL INTERFERENCE PROBLEM
                    INTEGER U,I                                                *001
                    DIMENSION Z(100),XX(500),YY(500),ZZ(500)                   *002
                    READ DATA                                                  *003
                    PRINT COMMENT §1§                                          *004
                    PRINT RESULTS D, XMAX, Z(26)...Z(32),Q,PI,K                *005
                    PRINT COMMENT §0§                                          *006
                    X=0                                                        *007
                    DELX=25.                                                   *008
                    U=0                                                        *009
                    C2=( ( (2*Q)/(PI*K) )*ELOG.(2000.) )—1600.                 *010
ALPHA               THROUGH BETA, FOR I=26,1,I .G. 33                          *011
                    C1=2*D*X—D*D                                               *012
                    C3=( (C2+Z(I)*Z(I) )*PI*K)/Q                               *013
                    C4=EXP.(C3)                                                *014
                    WHENEVER—C1*C1+4*C4*C4) .GE. 0.                            *015
                    C5=(—C1+SQRT . (C1*C1 +4*C4*C4) )/2.                       *016
                    END OF CODITIONAL                                          *017
                    WHENEVER C5—(X—D) .P. 2 .GE. 0.                            *018
                    ZZ(U)=Z(I)                                                 *019
                    XX(U)=X                                                    *020
                    Y=SQRT . (C5—(X—D) .P. 2)                                  *021
                    YY(U)=Y                                                    *022
                    U=U+1                                                      *023
                    PRINT RESULTS C2,X,C1,C3,C4,C5,Y                           *024
```

```
BETA            END OF CONDITIONAL                                                  *025
                X=X+DELX                                                            *026
                WHENEVER X .G. XMAX, TRANSFER TO GAMA                               *027
                TRANSFER TO ALPHA                                                   *028
GAMA            PRINT COMMENT §1                    VALUES OF Z FOR DIFFERENT       *029
                1 VALUES OF X AND Y §                                               *029
                PRINT COMMENT §0                    X                   Y           *030
                1                   Z               §                               *030
                THROUGH DELTA , FOR I=0 , 1 ,I.E.U                                  *031
DELTA           PRINT FORMAT BETA1,XX(I),YY(I),ZZ(I)]                               *032
                VECTOR VALUES BETA1 =§1Ho,F23.2,2F21.2*§                            *033
                PRINT COMMENT §1VALUES OF Y FOR DIFFERENT Z PLOTTED AGAINST X       *034
                2§                                                                  *034
                EXECUTE SETPLT.(1,XX,YY,U,§.§,20,ABC)                               *35
                VECTOR VALUES ABC=§ VALUES OF Y IN FEET§                            *036
                PRINT COMMENT §0VALUES OF X IN FEET§                                *037
                END OF PROGRAM                                                      *038
```

06/06/63 909

§DATA

***PAGE AND/OR TIME ESTIMATE TOO HIGH FOR CHECK RUN.

MAP

ERROR	00000*	SYSTEM	00000*	SPRINT	00000*	SCARDS	00000*	SKIP6	00000*	.EXIT	00000*
(MAIN)	10000	.RDATA	13653*	.PRSLT	14727*	.PCOMT	15421*	.PRINT	15440*	.ERR	15001*
.IOH	15555*	.03311	20053*	SQRT	20070*	ELOG	20147*	.01301	20247*	EXP	20340*
PLOTI	20447*	PLOT2	20447*	PLOT3	20447*	FPLOT4	20447*	FPLOT4	20447*	SETPLT	32424*
(PROG)	23325	(SUBT)	75363	(ERAS)	73714						
(XTRA)	50367										

D = 150.000000 XMAX = 300.000000

Z(26)...Z(32)

2.6000000E 01 2.70000E 01 2.800000E 01 2.900000E 01 3.000000E 01 3.100000E 01 3.200000E 01

Q = .668000, PI = 3.140000. K = 1.667000E-03

C2 = 340.020706, X = .000000, C1 = —2.250000E 04, C3 = 7.961435
C4 = 2868.184998, C5 = 2,285987E 04, Y = 18.970127
C2 = 340.020706, X = .000000, C1 = —2.250000E 04, C3 = 8.376737
C4 = 4344.809082, C5 = 2.330984E 04, Y = 28.457775
C2 = 340.020706, X = .000000, C1 = —2.250000E 04, C3 = 8.807712
C4 = 6685.602356, C5 = 2.433663E 04, Y = 42.855872
C2 = 340.020706, X = .000000, C1 = —2.250000E 04, C3 = 9.254358
C4 = 1.045001E 04, C5 = 2.660464E 04, Y = 64.067502
C2 = 340.020706, X = .000000, C1 = —2.250000E 04, C3 = 9.716676
C4 = 1.659200E 04, C5 = 3.129637E 04, Y 93.788960 Z = 30
C2 = 340.020706, X = .000000, C1 = —2.250000E 04, C3 = 10.194666
C4 = 2.676006E 04, C5 = 4.027866E 04, Y = 133.336643
C2 = 340.020706, X = .000000, C1 = —2.250000E 04, C3 = 10.688327
C4 = 4.384110E 04, C5 = 5.651151E 04, Y = 184.422110
C2 = 340.020706, X = .000000, C1 = —2.250000E 04, C3 = 11.197660
C4 = 7.295955E 04, C5 = 8.507180E 04, Y = 250.143560
C2 = 340.020706, X = 25.000000, C1 = —1.500000E 04, C3 = 8.376737
C4 = 4344.809082, C5 = 1.616760E 04, Y = 23.293867
C2 = 340.020706, X = 25.000000, C1 = —1.500000E 04, C3 = 8.807712
C4 = 6685.602356, C5 = 1.754725E 04, Y = 43.843497
C2 = 340.020706, X = 25.000000, C1 = —1.500000E 04, C3 = 9.254358
C4 = 1.045001E 04, C5 = 2.036284E 04, Y = 68.831960
C2 = 340.020706, X = 25.000000, C1 = —1.500000E 04, C3 = 9.716676
C4 = 1.659200E 04, C5 = 2.570836E 04, Y = 100.415940
C2 = 340.020706, X = 25.000000, C1 = —1.500000E 04, C3 = 10.194666
C4 = 2.676006E 04, C5 = 3.529120E 04, Y = 140.236219

C2= 340.020706,
C4=4.384110E 04,
C2= 340.020706,
C4=7.295955E 04,
C2= 340.020706,
C4= 6685.602356,
C2= 340.020706,
C4=1.043001E 04,
C2= 340.020706,
C4=1.659200E 04,
C2= 340.020706,
C4=2.676006E 04,
C2= 340.020706,
C4=4.384110E 04,
C2= 340.020706,
C4=7.295955E 04,
C2= 340.020706,
C4= 6685.602356,
C2= 340.020706,
C4=1.045001E 04,
C2= 340.020706,
C4=1.659200E 04,
C2= 340.020706,
C4=2.676006E 04,
C2= 340.020706,
C4=4.384110E 04,
C2= 340.020706,
C4=7.295955E 04,
C2= 340.020706,
C4= 6685.602356,

X= 25.000000,
C5=5.197800E 04,
X= 25.000000,
C5=8.084402E 04,
X= 50.000000,
C5=1.141549E 04,
X= 50.000000,
C5=1.485248E 04,
0X= 50.000000,
C5=02.076049E 04,
X= 50.000000,
C5=3.077153E 04,
X= 50.000000,
C5=4.775559E 04,
X= 50.000000,
C5=7.680586E 04,
X= 75.000000,
C5= 6685.602295,
X= 75.000000,
C5=1.045001E 04,
X= 75.000000,
C6=1.659200E 04,
X= 75.000000,
C5=2.676006E 04,
X= 75.000000,
C5=4.384110E 04,
X= 75.000000,
C5=7.295955E 04,
X= 100.000000,
C5= 3915.492676,

C1=—1.500000E 04,
Y= 190.664619
C1=—1.500000E 04,
Y= 255.380154
C1=— 7500.000000,
Y= 37.623034
C1=— 7500.000000,
Y= 69.659762
C1=— 7500.000000,
Y= 103.732802
C1=— 7500.000000,
Y = 144.123320
C1=— 7500.000000,
Y= 194.299654
C1=— 7500.000000,
Y= 258.468288
C1= .000000,
Y= 32.566890
C1= .000000,
Y= 69.462260
C1= .000000,
Y= 104.723438
C1= .000000,
Y= 145.379011
C1= .000000,
Y= 195.489389
C1= .000000,
Y= 259.489010
C1= 7500.000000,
Y= 37.623034

C3=10.688327
C3=11.197660
C3= 8.807712
C3= 9.254358
C3= 9.716676
C3=10.194666
C3=10.688327
C3=11.197660
C3= 8.807712
C3= 9.254358
C3= 9.716676
C3=10.194666
C3=10.688327
C3=11.197660
C3= 8.807712

C2= 340.020706, X= 100.000000, C1= 7500.000000, C3= 9.254358
C4=1.045001E 04, C5= 7352.482544, Y= 69.659762
C2= 340.020706, X= 100.000000, C1= 7500.000000, C3= 9.716676
C4=1.659200E 04, C5=1.326049E 04, Y= 103.732802
C2= 340.020706, X= 100.000000, C1= 7500.000000, C3=10.194666
C4=2.676006E 04, C5=2.327153E 04, Y= 144.123320
C2= 340.020706, X= 100.000000, C1= 7500.000000, C3=10.688327
C4=4.384110E 04, C5=4.025119E 04, Y= 194.296654
C2= 340.020706, X= 100.000000, C1= 7500.000000, C3=11.197660
C4=7.295955E 04, C5=6.930586E 04, Y= 258.468288
C2= 340.020706, X= 125.000000, C1=1.500000E 04, C3= 8.376737
C4= 4344.809082, C5= 1167.604248, Y= 23.293867
C2= 340.020706, X= 125.000000, C1=1.500000E 04, C3= 8.807712
C4= 6685.602356, C5= 2547.252319, Y= 43.843498
C2= 340.020706, X= 125.000000, C1=1.500000E 04, C3= 9.254358
C4=1.045001E 04, C5= 5362.838623, Y= 68.831960
C2= 340.020706, X= 125.000000, C1=1.500000E 04, C3= 9.716676
C4=1.659200E 84, C5=1.070836E 04, Y= 100.415940
C2= 340.020706, X= 125.000000, C1=1.500000E 04, C3=10.194666
C4=2.676006E 04, C5=2.029120E 04, Y= 140.236219
C2= 340.020706, X= 125.000000, C1=1.500000E 04, C3=10.688327
C4=4.384110E 04, C5=3.697800E 04, Y= 190.664619
C2= 340.020706, X= 125.000000, C1=1.500000E 04, C3=11.197660
C4=7.295955E 04, C5=6.584402E 04, Y= 255.380154
C2= 340.020706, X= 150.000000, C1=2.250000E 04, C3= 7.961435
C4= 2868.184998, C5= 359.865845, Y= 18.970130
C2= 340.020706, X= 150.000000, C1=2.250000E 04, C3= 8.376737
C4= 4344.809082, C5= 809.845093, Y= 28.457778
C2= 340.020706, X= 150.000000, C1=2.250000E 04, C3= 8.807712
C4= 6685.602356, C5= 1836.625854, Y= 42.855873

C2= 340.020706,
C4=1.045001E 04,
C2= 340.020706,
C4=1.659200E 04,
C2= 340.020706,
C4=2.676006E 04,
C2= 340.020706,
C4=4.384110E 04,
C2= 340.020706,
C4=7.295955E 04,
C2= 340.020706,
C4= 6685.602356,
C2= 340.020706,
C4=1.045001E 04,
C2= 340.020706,
C4=1.659200E 04,
C2= 340.020706,
C4=2.676006E 04,
C2= 340.020706,
C4=4.384110E 04,
C2= 340.020706,
C4=7.295955E 04,
C2= 340.020706,
C4=1.045001E 04,
C2= 340.020706,
C4=1.659200E 04,
C2= 340.020706,
C4=2.676006E 04,
C2= 340.020706,
C4=4.384110E 04,

X= 150.000000,
C5= 4104.644775,
X= 150.000000,
C5= 8796.369141,
X= 150.000000,
C5=1.777866E 04,
X= 150.000000,
C5=3.401151E 04,
X= 150.000000,
C5=6.257180E 04,
X= 175.000000,
C5= 1422.462402,
X= 175.000000,
C5= 3281.209473,
X= 175.000000,
C5= 7367.262207,
X= 175.000000,
C5=1.567736E 04,
X= 175.000000,
C5=3.133619E 04,
X= 175.000000,
C5=5.948554E 04,
X= 200.000000,
C5= 2715.439941,
X= 200.000000,
C5= 6287.110596,
X= 200.000000,
C5=1.392512E 04,
X= 200.000000,
C5=2.893233E 04,

C1= 2.250000E 04,
Y= 64.067502
G1= 2.250000E 04,
Y= 93.788960
C1= 2.250000E 04,
Y= 133.336643
C1= 2.250000E 04,
Y= 184.422110
C1= 2.250000E 04,
Y= 250.143560
C1= 3.000000E 04,
Y= 28.239377
C1= 3.000000E 04,
Y= 51.538427
C1= 3.000000E 04,
Y= 82.111279
C1= 3.000000E 04,
Y= 122.688076
C1= 3.000000E 04,
Y= 175.246037
C1= 3.000000E 04,
Y= 242.611914
C1= 3.750000E 04,
Y= 14.677873
C1= 3.750000E 04,
Y= 61.539505
C1= 3.750000E 04,
Y= 106.888330
C1= 3.750000E 04,
Y= 162.580229

C3= 9.254358
C3= 9.716676
C3=10.194666
C3=10.688327
C3=11.197660
C3= 8.807712
C3= 9.254358
C3= 9.716676
C3=10.194666
C3=10.688327
C3=11.197660
C3= 9.254358
C3= 9.716676
C3=10.194666
C3=10.688327

C2 = 340.020706, X = 200.000000, C1 = 3.750000E 04, C3 = 11.197660
C4 = 7.295955E 04, C5 = 5.658033E 04, Y = 232.551773
C2 = 340.020706, X = 225.000000, C1 = 4.500000E 04, C3 = 10.194666
C4 = 2.676006E 04, C5 = 1.246213E 04, Y = 82.686951
C2 = 340.020706, X = 225.000000, C1 = 4.500000E 04, C3 = 10.688327
C4 = 4.384110E 04, C5 = 2.677770E 04, Y = 145.439695
C2 = 340.020706, X = 225.000000, C1 = 4.500000E 04, C3 = 11.197660
C4 = 7.295955E 04, C5 = 5.385015E 04, Y = 219.602257
C2 = 340.020706, X = 250.000000, C1 = 5.250000E 04, C3 = 10.194666
C4 = 2.676006E 04, C5 = 1.123551E 04, Y = 35.149763
C2 = 340.020706, X = 250.000000, C1 = 5.250000E 04, C3 = 10.688327
C4 = 4.384110E 04, C5 = 2.484897E 04, Y = 121.856349
C2 = 340.020706, X = 250.000000, C1 = 5.250000E 04, C3 = 11.197660
C4 = 7.295955E 04, C5 = 5.128811E 04, Y = 203.194756
C2 = 340.020706, X = 275.000000, C1 = 6.000000E 04, C3 = 10.688327
C4 = 4.384110E 04, C5 = 2.312290E 04, Y = 86.590398
C2 = 340.020706, X = 275.000000, C1 = 6.000000E 04, C3 = 11.197660
C4 = 7.295955E 04, C5 = 4.888660E 04, Y = 182.377632
C2 = 340.020706, X = 300.000000, C1 = 6.750000E 04, C3 = 11.197660
C4 = 7.295955E 04, C5 = 4.663755E 04, Y = 155.362640

VALUES OF Z FOR DIFFERENT VALUES OF X AND Y

X	Y	Z
.00	18.97	26.00
.00	28.46	27.00
.00	42.86	28.00
.00	64.07	29.00
.00	93.79	30.00
.00	133.34	31.00
.00	184.42	32.00
.00	250.14	33.00
25.00	23.29	27.00
25.00	43.84	28.00
25.00	68.83	29.00
25.00	100.42	30.00
25.00	140.24	31.00
25.00	190.66	32.00
25.00	255.38	33.00
50.00	37.62	28.00
50.00	69.66	29.28
50.00	103.73	30.00
50.00	144.12	31.00
50.00	194.30	32.00
50.00	258.47	33.00
75.00	32.57	28.00
75.00	69.46	29.00
75.00	104.72	30.00
75.00	145.38	31.00
75.00	195.49	32.00
75.00	259.49	33.00
100.00	37.62	28.00
100.00	69.66	29.00
100,00	103.73	30.00
100.00	144.12	31.00
100.00	194.30	32.00
100.00	258.47	33.00
125.00	23.29	27.00
125.00	43.84	28.00
125.00	68.83	29.00
125.00	100.42	30.00
125.00	140.24	31.00
125.00	190.66	32.00
125.00	255.38	33.00
150.00	18.97	26.00
150.00	28.46	27.00
150.00	42.86	28.00
150.00	64.07	29.00
150.00	93.79	30.00
150.00	133.34	31.00
150.00	184.42	32.00
150.00	250.14	33.00
175.00	28.24	28.00
175.00	51.54	29.00
175.00	82.11	30.00
175.00	122.69	31.00
175.00	175.25	32.00
175.00	242.61	33.00
200.00	14.68	29.00
200.00	61.54	30.00
200.00	106.89	31.00
200.00	162.58	32.00
200.00	232.55	33.00
225.00	82.69	31.00

X	Y	Z	X	Y	Z
225.00	145.44	32.00	250.00	203.19	33.00
225.00	219.60	33.00	275.00	86.59	32.00
250.00	35.15	31.00	275.00	182.38	33.00
250.00	121.86	32.00	300.00	155.36	33.00

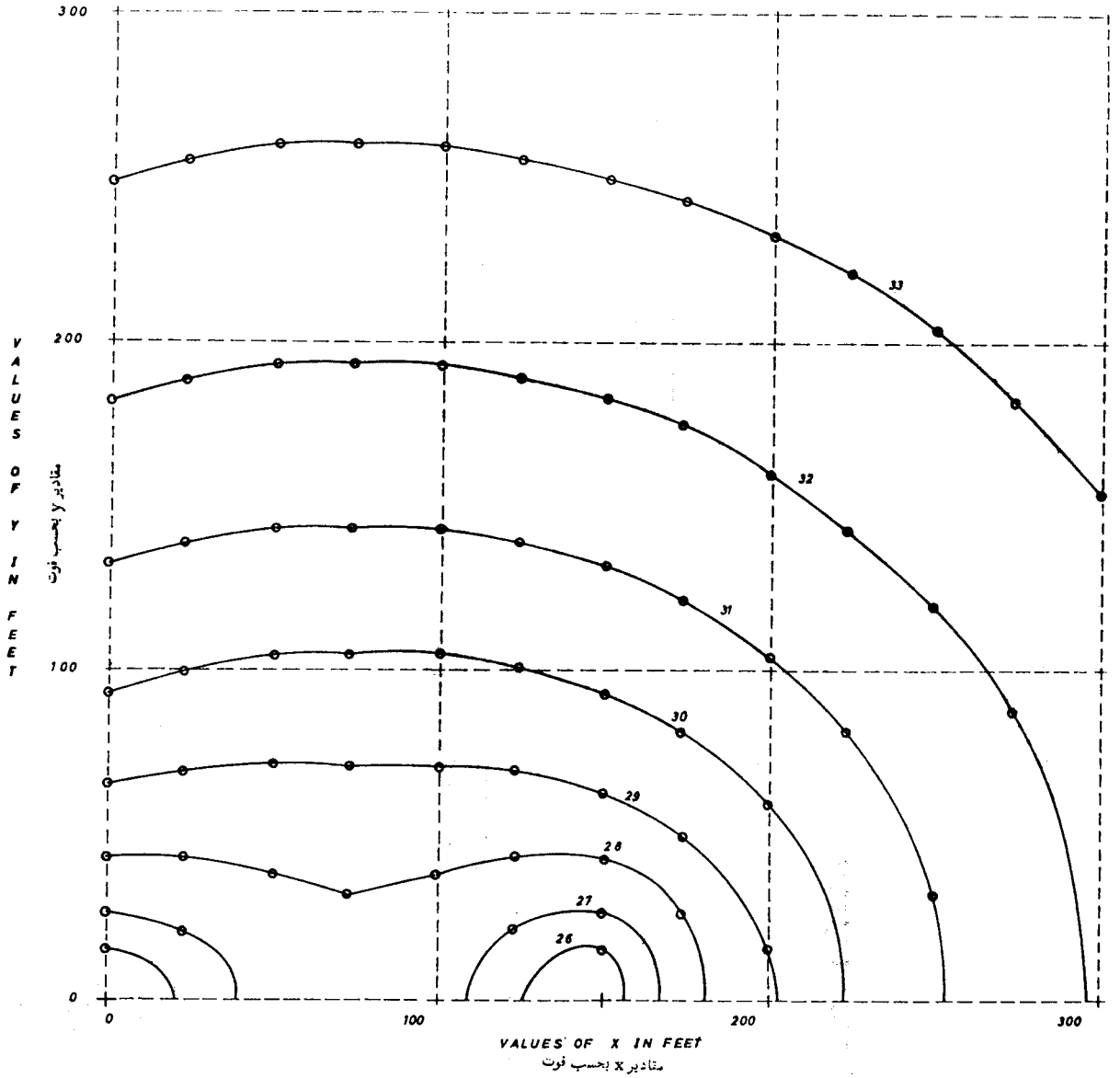
6 JUNE 1963 060663 RUN NO. 909 THURSDAY 3 33.44 PM 3 34.58 PM
MOZAYENY MOSTAFA R015E 008 040 000 WELL PLM

ELAPSED TIMES IN MINUTES
§ 2. TOTAL .8 EXECUTE .3 COMPILE

SYSTEM MODEL13 MAY 1963

VALUES OF Y FOR DIFFERENT Z PLOTTED AGAINST X

مقادیر y بازاء مقادیر مختلف z برای x های مختلف



نتیجه

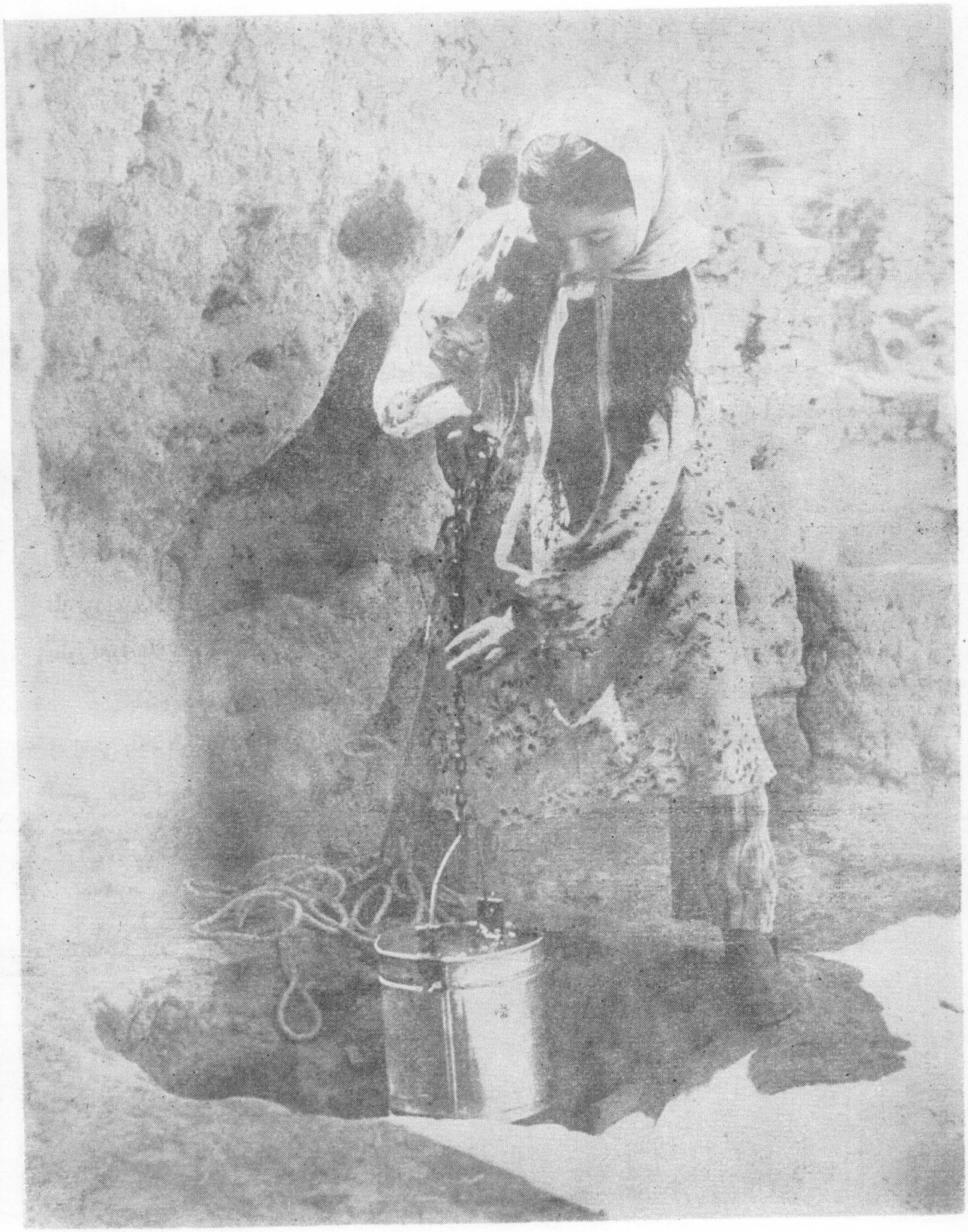
بطوریکه ملاحظه میشود ماشینهای حساب سریع العمل الکترونیک باب‌های‌جدیدی درعلوم‌برای محققین ومعلمین آینده جهان‌بازنموده این وسیله با قدرت امکانات بسیار برای بشر درراه استفاده بهتر ازمنابع محدود خویش بوجود آورده است.

استفاده از ماشینهای حساب الکترونیک در توسعه منابع‌آب بطوریکه در رساله‌نگارنده تحت‌عنوان

«یک روش نو دراقتصاد مهندسی تأسیسات آبی»

نیز توضیح داده شده موجب صرفه‌جوئی‌های فراوان در وقت وپول میگردد وبازده کارهای عمرانی کشور را بطور قابل ملاحظه‌ای بالا میبرد.

باینجهت میتوان‌بادرنظرگرفتن آنچه گذشت توصیه کرد که نه‌تنها درمورد بهره‌برادری‌بهترازآبهای زیرزمینی بلکه درکلیه مواردی که اثرات اقتصادی اخذتصمیم عمیق‌است مخصوصاً درمورد برنامه‌ریزیهای اساسی برای کارهای عمرانی در مملکت از این وسیله بسیار قوی که امروزه دراختیار بشر قرارگرفته استفاده بیشتری بشود.



بالا بردن سطح تولید درکشور مستلزم بهره برداری بهتراز آبهای زیرزمینی است