ساختمان یك دهلیز بزرگ زیرزمینی با مهارهای پیش تنیده فولادی و بتون پرتابی

نوشتهٔ :

مهندس ایرج شمس ملك آرا

استاد دانشکده فنی

چکیده :

درشمال آلمان غربی درکوهستانی بنام Rheinische Schiefergebirge یك نیروگاه عظیم توربین و پمپ بنام (Waldeck) درداخل یك دهلیز بزرگ در دست ساختمان میباشد برش عرضی این دهلیز بیضی شکل وبمساحت ۱۴۰۰ مترمربع و ابعاد آن ۳۳ متر عرض دهانه در ٤٥ متر ارتفاع میباشد کوهستانی که این دهلیز بزرگ در درون آن ساخته میشود از لایه های متناوت خاك رست فشرده و شیست و نوارهای سنگ ماسه تشکیل شده است. ازنظر ژئوفیزیکی توده‌های سنگی این کوهستان دارای ترك‌ها و بریدگی‌های متعدد و سطوح جدائی و مناطق درهم ریخته وگسل های مختلف میباشد و واضح است که حفر دهلیزی با ابعاد مذکور فوق درکوهستانی که پر ازسطوح لغزش و توده‌های درهم ریخته است کاری ـ بس دشوار خواهد بود و مستلزم آن است که هم‌ازلحاظ حفر دهلیز به‌قطعات تدریجی و هم‌ازلحاظ مهاربندی و تقویت سقف و جدارهای دهلیز که هرلحظه ممکن است بدلیل وجود سطوح لغزش یکباره درهم بریزند مورد مطالعه و بررسی و محاسبه دقیق قرارگیرد.

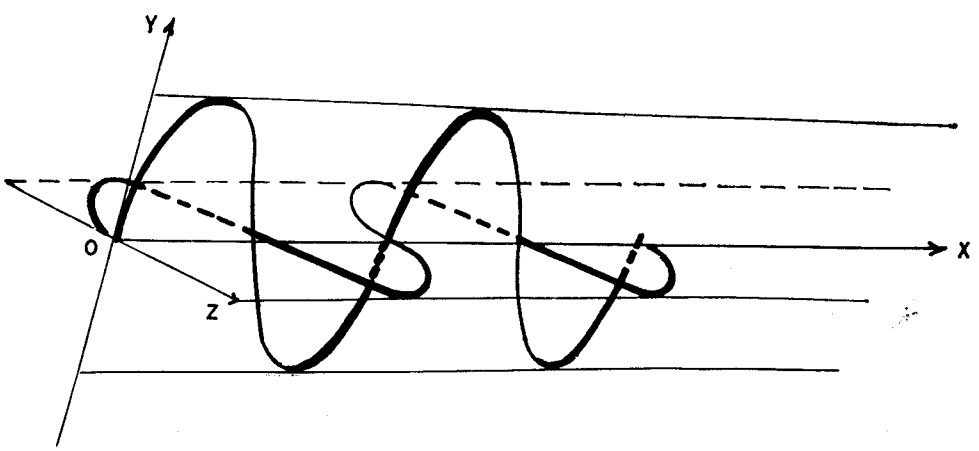
مطالعات اولیه شامل زمین شناسی دقیق کوهستان به کمك تونل های شناسائی متعدد بوده که توسط یك گروه مهندسی زمین شناسی انجام شده است.

یك گروه مهندسی راه و ساختمان نیز مأمور تهیه طرح ساختمان دهلیز و محاسبه نیروها و تنش ها و تقویت‌های لازم با توجه به‌نتایج زمین‌شناسی بوده‌اند و چون روش محاسبات برمبنای مکانیك سنگ با درنظر گرفتن عدم شناسائی دقیق مقاومت توده‌های درهم‌ریخته و سطوح جدائی وگسل ها کاملاً اطمینان بخش نیست. لذا علاوه‌بر محاسبه مبادرت به‌تهیه مدل و آزمایش های فتوالاستیسته Photoélasticité نیزشده

است تا هم بتوان ازنقاط و سطوح ضعیف اطلاع حاصل کرد و هم‌مناسب‌ترین و بهترین نوع مهاربندی سقف و بدنه را بوسیله آزمایش در روی مدل (Model) یا نمونه به‌مقیاس کوچک تعیین نمود. کلیه این محاسبات و مطالعات بوسیله یک گروه متخصص تحت‌نظر پرفسور رشر (Prof. O-J. Rescher) استاد مکانیک سنگ دانشکده فنی وین انجام شده است ودراین مقاله روش محاسبات و مطالعات وآزمایش‌ها و نتایجی که توسط گروه نامبرده بدست آمده است عیناً با دیاگرام وکلیشه‌های مربوطه درج میگردد.

برای آنکه خوانندگان به‌روش‌های فتوالاستیسته (یا تنش‌یابی نوری) آگاهی یافته و بتواند ازاین پژوهش‌ها ومطالعات وآزمایش‌ها بهره‌گیری نمایند قبل‌ازشرح مطالعات و آزمایش‌ها و نتیجه‌گیری‌ها کلیاتی راجع به‌روش فتوالاستیسته (Photoélasticité) که مبنای آن استفاده از خاصیت نور پولاریزه (Polarisé) یا قطبی شده برای تعئین و اندازه‌گیری تنش‌های داخلی یک نمونه با مقیاس کوچک است در زیر شرح داده میشود. لازم است یادآوری شود که نمونه بامقیاس کوچک‌تر با توجه به‌مطالعات زمین‌شناسی و نوع لایه‌های مختلف و ابعاد و اندازه‌های ساختمان مورد نظر تهیه میشود و بارها و نیروهای مربوطه هم با مقیاس مناسبی به‌آن وارد میشود و پس‌از اندازه‌گیری و محاسبه تنش‌ها به‌کمک نورپولاریزه طبق قوانین تشابه (Similitude) تنش‌های موجود درساختمان اصلی نیز محاسبه خواهد شد.

بطوریکه میدانیم نور پولاریزه یا قطبی شده نوری است که کلیه ارتعاشات آن دریک سطح صورت گیرد که آنرا سطح پولاریزاسیون یا قطبی شدن مینامند (شکل ۱).

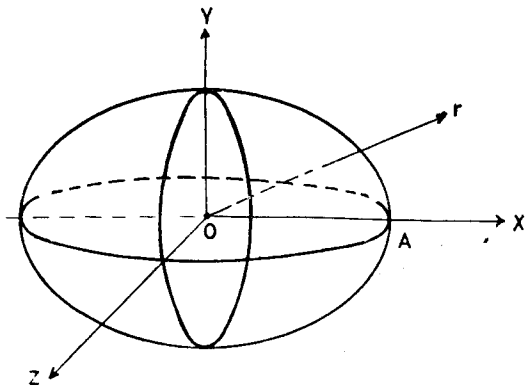


(شکل ۱)

بیضوی فرنل (Ellipsoide de Frénel) ـ سرعت انتشار نور پولاریزه دریک محیط تابع خواص فیزیکی آن محیط و دریک جسم تابع ساختمان مولکولی آن جسم‌است. بدیهی است دریک جسم (همگن) یا (Isotrope) این سرعت درتمام جهات یکسان خواهد بود.

درمورد اجسام بلوری سرعت انتشار نور دارای سه محور اصلی میباشد که همان امتداد محورهای بیضوی ارتجاعی میباشد.

اگر ox و oy و oz این سه محور باشد و طول‌های oA و oB و oC را برابر عکس سرعت انتشار نور پولاریزه در جهت سه محور اصلی فوق جدا کنیم بیضوی که نیم‌قطرهای اصلی آن oA و oB و oC است بیضوی فرنل (Frénel) مینامند و هربردار مانند oR برابر عکس سرعت انتشار نور پولاریزه درجهت or خواهد بود. (شکل ۲).



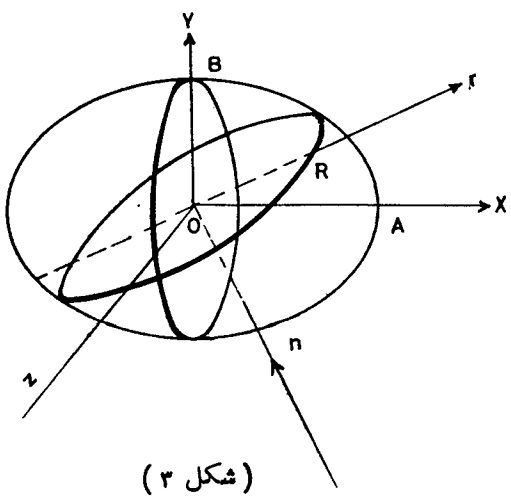
(شکل ۲)

بدیهی است در مورد یک جسم همگن بیضوی فوق تبدیل به‌یک کره خواهد شد زیرا : سرعت انتشار نور درتمام جهات یکسان میباشد یعنی :

$$(oA = oB = oC)$$

در مورد اجسام بلوری نیمه همگن دو عدد از نیم‌قطرها برابرند مثلاً oB و oC بنابراین کلیه مقاطع عمود به‌امتداد oA دائره خواهند بود و بعبارت دیگر بیضوی فرنل یک بیضوی دوار خواهد شد.

درچنین موردی امتداد oA را محور نوری جسم بلوری و جسم بلوری مربوطه را هم (بلور یک محوری) مینامند بدیهی است هرنور پولاریزه که در امتداد oA به‌بلور یک محوری بتابد ارتعاشات آن در سطح (OBC) تولید خواهد شد وسرعت آن نیز ثابت خواهدبود. ولی اگر نور پولاریزه درامتداد دیگری مانند on به‌بلور یک محوری بتابد سطح ارتعاشات آن که عمود به‌جهت انتشار نور میباشد بیضوی فرنل را بشکل بیضی (OSR) که عمود به‌امتداد on است قطع خواهد کرد (شکل ۳).



(شکل ۳)

توجه : نقطه C روی محور Z و نقطه S هم درمحل تقاطع دائره وبیضی مقطع میباشد

بدیهی است یکی از محورهای اصلی این بیضی OS خواهد بود که یک‌شعاع دائره اصلی (OBC) میباشد و محور دیگر به‌آن عمود خواهد بود که در شکل به OR نشان داده شده است.

OS و OR را دومحور اصلی سطح ارتعاش نور پولاریزه مینامند بدیهی است چون این دومحور برابر نیستند بنابراین دو موج نورانی پولاریزه با سرعت‌های مختلف $\frac{1}{OR}$ و $\frac{1}{OS}$ و در دو امتداد عمود به‌یکدیگر درسطح ارتعاش مذکور تولید خواهد شد.

واضح است که درصورت تغییر امتداد On چون همواره یکی از محورهای اصلی شعاع دائره (OBC) میباشد لذا یکی‌از موج‌های نورانی پولاریزه دارای سرعت ثابت خواهد بود که آن‌را (موج‌عادی) مینامند موج دیگرکه غیرعادی نامیده میشود دارای سرعت متغیر بین $\left(\frac{1}{OA}\right.$ و $\left.\frac{1}{OB}\right)$ خواهد بود.

بطوریکه دیدیم در حالت کلی هرنور پولاریزه که به‌یک بلور بتابد به‌دو نور پولاریزه عمود به‌یکدیگر وبا سرعت‌های مختلف تجزیه خواهد شد و هنگامیکه این‌دو نور از بلور خارج میشوند بدلیل اختلاف سرعت یک‌اختلاف فاز خواهند داشت که متناسب با اختلاف سرعت‌ها و ضخامت بلور خواهندبود و ترکیب این‌دو نور پس‌از خروج از بلور یک ارتعاش بیضی‌شکل تشکیل میدهدکه معادله آن :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy\cos\alpha}{ab} = \sin^2\alpha$$

است. (a و b قطرهای بیضی و α هم زاویه اختلاف فاز میباشد).

دراین حالت میگویندکه نور تابیده تبدیل به‌نور پولاریزه بیضی شکل شده است.

بدیهی‌است اگر این اختلاف فاز برابر نصف طول موج λ یعنی $\alpha = \pi$ باشد دراین‌حالت معادله بیضی فوق بصورت $\left(\frac{x}{a} \pm \frac{y}{b}\right)^2 = 0$ درخواهد آمد که معادله خط است بنابراین ارتعاش نور پولاریزه‌درخروج از بلور خطی‌خواهدشد. بلوری که ازلحاظ ضخامت‌وخواص‌فیزیکی‌چنین‌اختلاف‌فازی ایجاد نماید (نیم‌موج) نامیده میشود و اگر بلور دارای خواصی باشدکه اختلاف فاز برابر ربع طول موج λ یعنی $\alpha = \mp\frac{\pi}{2}$ شود و بعلاوه‌بلور نیم‌همگن یعنی $a=b$ باشد دراین‌صورت معادله ارتعاش خروجی $x^2 + y^2 = a^2$ خواهد شد ودراین‌حالت میگویند نورپولاریزه خروجی‌دائروی شده است و بلوری که‌دارای این خاصیت باشد (ربع موج) نامیده میشود.

روش فتوالاستیسیته (Photoelasticité) ازآزمایش‌هائیکه توسط دانشمندان معروف مانند (Breuster) و (Kerr) و (Pockel) در روی بلورهای همگن که تحت‌اثر فشار یا کشش قرارگرفته

باشند بعمل آمده نتایج زیر بدست آمده است که مبنای روش فتوالاستیسیته برای محاسبه تنش های درونی اجسام میباشد.

۱ ـ اگر یک جسم بلوری همگن مانند شیشه یا کزیلونیت (Xylonite) یا باکلیت (Bakelite) ویا بطور کلی هرماده پلاستیکی شفاف را تحت تأثیر یک نیروی فشاری یا کششی P عمود بسطح آن قرار دهیم جسم مزبور در مقابل نور پولاریزه خاصیت بلور یک محوری را پیدا خواهد کرد که امتداد نیروی وارده محور نوری آن را تشکیل میدهد.

۲ ـ اگر نور پولاریزه در امتداد عمود بمحور نوری فوق الذکر یعنی نیروی وارده به بلور تحت فشار یا کشش بتابد نور مزبور درسطح نیروی وارده به دو موج پولاریزه که یکی موازی و دیگری عمود بامتداد نیروی وارده است تجزیه خواهد شد. (بدیهی است این دو امتداد محورهای تنش های اصلی هستند).

۳ ـ اختلاف فاز بین دوموج پولاریزه مذکور دربند ۲ متناسب با شدت نیروی فشاری یا کششی وارده است بعلاوه این اختلاف فاز با ضخامت بلور مورد آزمایش نیز متناسب خواهد بود.

یعنی اگر فشار یا کشش وارده را (P) و ضخامت بلور مورد بحث را (d) و ضریب های مربوط به دوموج پولاریزه را C_1 و C_2 نام گذاریم اختلاف فاز دوموج پولاریزه خروجی برابر $r_1 - r_2 = (C_1 - C_2) P \cdot d$ خواهد شد.

حال اگر بلورمزبور را تحت اثر دونیروی P و Q واقع دریک سطح وعمود بیکدیگر قرار دهیم اختلاف فاز کامل برابر تفاوت دواختلاف فاز مربوط به هریک از نیروها خواهد شد و خواهیم داشت :

$$r_1 - r_2 = (C_1 - C_2)(P - Q)\, d = C(P - Q)\, d$$

تبصره ـ مقدار $(C_1 - C_2)$ را که بصورت (C) مینویسند ضریب نسبی فتوالاستیک مینامند و واحد آن بروستر (Brewster) است که ضریب یک بلوری خواهد بود که با ضخامت یک سیلیمتر و تحت اثر تنش یک کیلو گرم درسانتیمتر مربع یک اختلاف فاز برابر یک انگستروم (Angstrum) تولید نماید.

بعلاوه با آزمایش های کامل تری که انجام گردیده نتایج کلی و مهم زیر بدست آمده است :

۱ ـ درهرنقطه ازیک جسم بلوری که تحت تأثیرفشار یا کشش قرار گرفته باشد محورهای پولاریزاسیون یا قطبی شدن نورعبور کننده موازی محورهای تنش های اصلی خواهد بود.

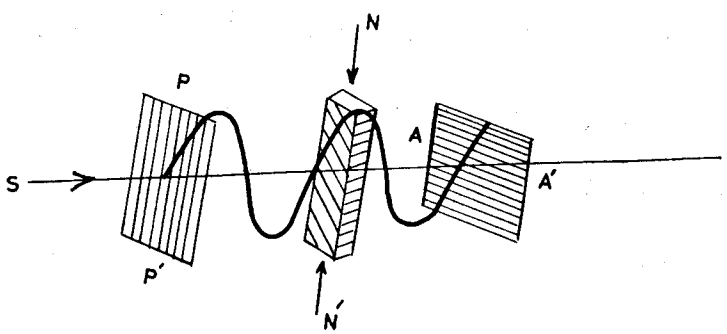
۲ ـ درنقطه مورد بحث اختلاف سرعت یا اختلاف فاز دوموج پولاریزه در دو امتداد عمود بیکدیگر متناسب با تفاوت دو تنش اصلی واقع درسطح ارتعاش میباشد و تابع تنش اصلی عمود براین سطح نخواهد بود.

برای آنکه نور پولاریزه بدون تغییرات سریع از مدل مورد آزمایش عبور کند نمونه را بصورت

تیغه متوازی‌السطوح تهیه میکنند ونیروها را بطور قائم به‌لبه‌های تیغه وارد مینمایند و دراین‌حالت دوعدد از تنش‌های اصلی درسطح اصلی تیغه متوازی‌السطوح قرارخواهند گرفت.

بدیهی است اگر نور پولاریزه درامتداد عمود به‌سطح اصلی تیغه متوازی‌السطوح بتابد پس‌ازعبور از تیغه به‌دوامتداد عمود بیکدیگر و واقع درسطح اصلی تجزیه خواهد شد و به‌این‌ترتیب سطح ارتعاش نورهای پولاریزه با سطح تنش‌های اصلی منطبق خواهد شد حال اگر اختلاف فاز $r_1 - r_2$ دونور پولاریزه مزبور را پس‌ازخروج ازتیغه بطریقه‌تداخل یا درهم روی‌نور یا انترفرانس (Interférence) اندازه بگیریم با توجه به‌قوانین مذکور دربالا میتوانیم تفاوت تنش‌های اصلی را بدست آوریم.

بطوریکه‌دیدیم نور تابنده بایدپولاریزه باشد و نور خروجی‌هم بمنظور ایجاد نوارهای‌درهم روی یا انترفرانس‌باید مجدداً پولاریزه شودبرای‌این‌منظور در ابتدا و انتهای مسیر نور در دوطرف مدل موردآزمایش دو بلور نیکول (Nicol) یا پولاروئید (Polaroide) قرارمیدهند که عمل آن‌ها قطبی ساختن نورهای گذرنده است اولی‌را پولاریزور Polariseur یا قطبی‌ساز و دومی‌را آنالیزور Analyseur یا جدا ساز مینامند. بدیهی است اگر تیغه متوازی‌السطوح را درحول محورش بچرخانیم امتداد نور پولاریزه خروجی تغییرخواهد کرد و اگر دوران تیغه مذکور به‌اندازه‌ای باشدکه سطح ارتعاش نور پس‌از عبور از پولاریزور عمود به‌سطح ارتعاش نور خروجی از آنالیزور باشد دراین‌صورت میگوئیم که نیکول‌ها یا پولاروئیدها صلیبی هستند (شکل ٤).



(شکل ٤)

فرض کنیم که oX امتداد سطح ارتعاش نور پولاریزه ورودی و op و oq هم‌امتداد محورهای تنش‌های اصلی درسطح تیغه مورد آزمایش باشند بنابراین مولفه‌های حرکت نور در روی دومحور مذکور بصورت زیر خواهد بود.

$$U_1 = a\cos\alpha \sin \frac{2\pi}{\lambda}(V_0 T - x)$$

$$U_2 = a\sin\alpha \sin \frac{2\pi}{\lambda}(V_0 T - x)$$

که درآن (α) زاویه امتداد سطح ارتعاش نور ورودی با امتداد تنش اصلی و (V_0) سرعت انتشار نور پولاریزه در مدل مورد آزمایش و λ طول موج و T زمان و a دامنه نوسان میباشد.

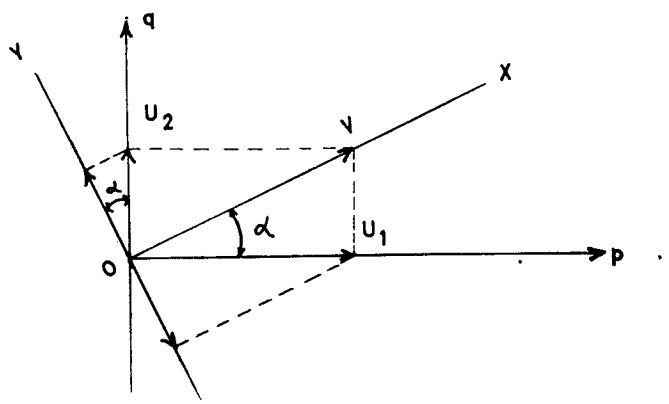
حال اگر P و Q دوتنش اصلی درسطح ارتعاش باشد بطوریکه قبلاً دیدیم یکی از موج ها نسبت بدیگری به‌اندازه $R=C(P-Q)d$ اختلاف فاز پیدا خواهد کرد.

و پس از خروج از تیغه مورد آزمایش معادله حرکت آن ها بصورت زیر خواهد بود.

$$U'_1 = a\cos\alpha \sin\frac{2\pi}{\lambda}(V_0T - x - R)$$

$$U'_2 = a\sin\alpha \sin\frac{2\pi}{\lambda}(V_0T - x)$$

و اگر نیکول ها یا پولاروئیدهای ورودی و خروجی نسبت بیکدیگر صلیبی باشند سطح ارتعاش نور پولاریزه خروجی درامتداد oY عمودبه oX قرارخواهد گرفت ومعادله حرکت آن هم حاصل جمع جبری مولفه های U'_1 و U'_2 در روی محور oY بصورت زیر خواهد بود (شکل ٥).



(شکل ٥)

$$U'y = U'_2\cos\alpha - U'_1\sin\alpha =$$

$$= a\sin\alpha\cos\alpha\left[\sin\frac{2\pi}{\lambda}(V_0T - x) - \sin\frac{2\pi}{\lambda}(V_0T - x - R)\right]$$

$$= a\sin 2\alpha \sin\frac{\pi R}{\lambda}\cos\frac{2\pi}{\lambda}\left(V_0T - x - \frac{R}{2}\right)$$

واضح است که معادله فوق یک حرکت ارتعاشی با دامنهٔ $\left(a\sin 2\alpha \sin\frac{\pi R}{\lambda}\right)$ میباشد و بطوریکه دیده میشود شدت آن یعنی شدت نور پولاریزه خروجی مورد بحث برای مقادیر :

$$\frac{\sin \pi R}{\lambda} = 0 \quad \text{و} \quad \sin 2\alpha = 0$$

یعنی : $2\alpha = n\pi$ و $\frac{\pi R}{\lambda} = n\pi$ صفر خواهد شد (n یک عدد صحیح است).

بعلاوه می‌بینیم که شدت موج خروجی برای $\sin 2\alpha = 1$ یعنی $\alpha = \frac{\pi}{4}$ حداکثر خواهد بود.

خطوط هم شیب (Isocline) شرط اول یعنی $\alpha = \frac{n\pi}{2}$ موقعی تأمین میگردد که امتداد تنش های اصلی در سطح تیغه مورد آزمایش موازی سطح ارتعاش پولاریزور و آنالیزور باشند و در هرنقطه تیغه مزبور که این شرط موجود باشد شدت نور خروجی مربوطه صفر ویا بعبارت دیگر تاریک خواهد بود و اگر نور خروجی را در روی یک پرده سفید بیفکنیم نقاط تاریک در روی پرده منحنی هائی تشکیل خواهند داد که مکان هندسی کلیه نقاطی از سطح تیغه مورد آزمایش است که درآن نقاط امتداد تنش های اصلی موازی سطح ارتعاش پولاریزور و آنالیزور میباشند.

این منحنی های تاریک را خطوط هم‌شیب یا (Isocline) مینامند بدیهی است اگر پولاریزور و آنالیزور را درحول محورهای خود بچرخانیم بطوریکه همواره نسبت بهم صلیبی باشند (خطوط هم‌شیب) تغییرمحل خواهند داد زیرا این مرتبه خطوط تاریک‌نورخروجی نقاطی‌ازسطح اصلی‌تیغه‌را در روی پرده نشان خواهد داد که امتداد تنش های اصلی‌آن‌ها با امتداد جدیدسطح ارتعاش پولاریزور و آنالیزور موازی هستند و به‌این ترتیب میتوانیم‌امتداد تنش های اصلی تمام نقاط سطح اصلی یک نمونه مورد آزمایش را تعیین کنیم.

شبکه های خطوط هم‌شیب که به‌این ترتیب بدست میآید به‌درجهٔ زاویه‌امتدادسطح ارتعاش پولاریزور با محورافقی یاقائم‌نام گذاری میکنند مثلاً خط هم‌شیب n درجه یعنی‌خط هم‌شیب نقاطی که‌امتداد تنش های اصلی آن‌ها با محور افقی یا قائم‌زاویه n درجه تشکیل میدهد.

بدیهی‌است با توجه به‌خاصیت دوران خطوط هم‌شیب می‌بینیم که اگر دریک ناحیه از سطح اصلی نمونه امتداد تنش های اصلی ثابت بماند. (مانند مرکز یک صفحه دائروی که تحت اثر نیروی فشاری یا کششی یکنواخت قرارگرفته باشد) دراین ناحیه روی پرده تصویر بجای خط تاریک یک ناحیه تاریک پدیدار خواهد شد.

خطوط همرنگ (Isochromatique) ـ شرط دوم صفرشدن شدت یا تاریک شدن نور خروجی یعنی :

$$R = n\lambda$$

موقعی تأمین میگردد که اختلاف فاز R برابر یکی از مضرب‌های طول موج (λ) باشد. ولی چون اختلاف فاز R متناسب با تفاوت تنش های اصلی P و Q بود لذا تمام نقاطی که تفاوت $(P-Q)$ ثابت و برابر $n\lambda$ باشند روی پرده تصویر بصورت یک‌منحنی تاریک ظاهرخواهند شد این منحنی هارا که مجموعاً

بشکل نوارهای تداخل یا درهم روی نور یا فرانژهای انترفرانس ظاهر میشوند بدلیل تغییر رنگ ناشی‌از تغییر λ بنام خطوط همرنگ یا (Isochromatique) مینامند وهرخط همرنگ‌هم بنام‌ضریب (n) مربوطه به ($n\lambda$) نامیده خواهد شد و جهت کاهش یا افزایش آن‌راهم میتوان با کاستن یا افزودن نیروهای وارده تعیین نمود بطور خلاصه دراثر عبور نور پولاریزه از مدل مورد آزمایش و افکندن این نور در روی یک پرده دو شبکه خطوط سیاه رنگ ظاهر خواهد شد که بترتیب خطوط هم‌شیب و خطوط هم‌رنگ میباشند خطوط دسته اول امتداد تنش‌های اصلی و خطوط دسته دوم تفاوت تنش‌های مزبور را تعیین میکنند و به‌این‌ترتیب میتوان از توزیع تنش‌ها درتمام سطح مدل اطلاع حاصل نمود (شکل ٦) در بعضی ازمدل‌ها

(شکل ٦)

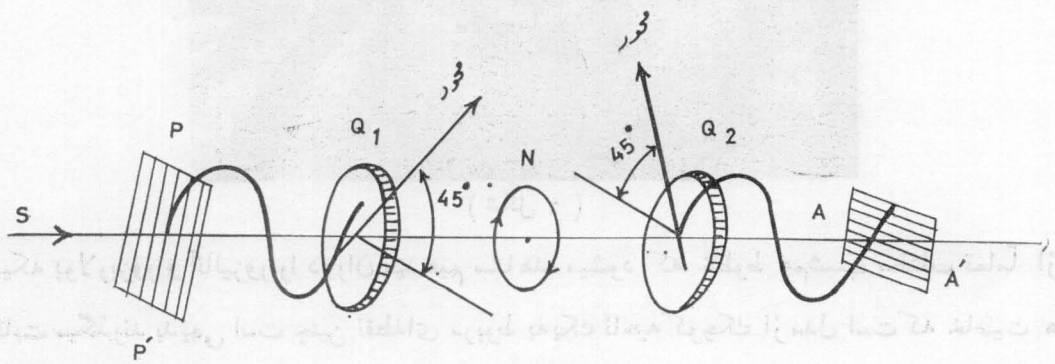
هنگامیکه پولاریزور و آنالیزور را دوران میدهیم مشاهده میشود که خطوط هم‌شیب مختلف تماماً از یک نقطه ثابت میگذرند بدیهی است چنین نقطه‌ای مربوط به‌یک ناحیه کوچک از مدل است که خاصیت همگن یا (Isotrope) داشته باشد یعنی تنش‌ها بصورت فشار یا کشش یک نواخت در تمام جهات توزیع شده باشند. چنین نقطه‌ای را نقطه همگن یا (Isotrpe) مینامیم و هردو امتداد غیرمشخص عمود بهم دراین نقطه دو محور اصلی خواهند بود و بنابراین زاویه α دراین نقطه همواره صفر میباشد.

راجع به‌خطوط همرنگ هم‌نقاط همگن بصورت یک لکه تاریک نمودار میشوند زیرا در کلیه این نقاط تفاوت $(P-Q)$ مساوی صفر وثابت میباشد برای مثال نقاط و خطوط خنثی یا بدون تنش درتیرهای منشوری شکل یعنی خطوطی که منطقه فشرده تیر را از منطقه کشیده آن جدا میکند نیز دارای این خاصیت خواهند بود (زیرا دراین نقاط $P=Q=o$) بنابراین لکه‌های تاریک اغلب مربوط به‌نواحی بدون تنش نمونه‌ها هستند.

حذف خطوط هم‌شیب ـ بطوریکه دیدیم خطوط هم‌شیب وهم‌رنگ‌باهم در روی‌پرده تصویرظاهر میشوند وچون خطوط دسته اول اغلب درشت هستند قسمتی از خطوط دسته دوم را میپوشانند و مانع تفسیر صحیح و تشخیص کامل آن‌ها میگردند. البته میتوان خطوط دسته اول یعنی خطوط هم‌شیب را هر وقت که لازم باشد بکلی حذف نمود و برای این منظور از دو بلور (ربع موج) که قبلاً شرح داده شد استفاده میکنند که یکی ازآن‌ها را بین مدل مورد آزمایش و پولاریزور و دیگری را بین مدل و آنالیزور بطوری قرارمیدهند که محورهای آن‌ها با محورهای آنالیزور و پولاریزور زاویه ٤٥ درجه تشکیل دهد (شکل ٧).

بطوریکه قبلاً دیدیم نور پولاریزه پس‌از عبور از بلور ربع موج اول به‌یک موج دائروی با اختلاف فاز $\alpha=\frac{\pi}{2}$ ویا $\frac{\lambda}{4}$ تبدیل‌میشود موج دائروی مزبورهمواره دارای دومؤلفه مساوی یکدیگر و موازی محورهای تنش اصلی خواهد بود که پس‌از عبور از بلور ربع‌موج دوم که معکوس بلور ربع موج اول‌میباشد تبدیل به‌یک موج پولاریزه خطی‌میگردد که هیچگاه شدت آن بدلیل دائروی بودن موج صفر نخواهد شد. وبنابراین بدون آنکه در وضع موج‌خروجی ازلحاظ خطوط همرنگ تغییری حاصل شود خطوط هم‌شیب بکلی حذف خواهد شد.

مجموعه بلورهای فوق‌الذکر را یک پورلاریزور دائروی مینامند که در آزمایش‌های مربوط به‌مدل دهلیز موضوع این مقاله بکار رفته است (شکل ٧).



(شکل ٧)

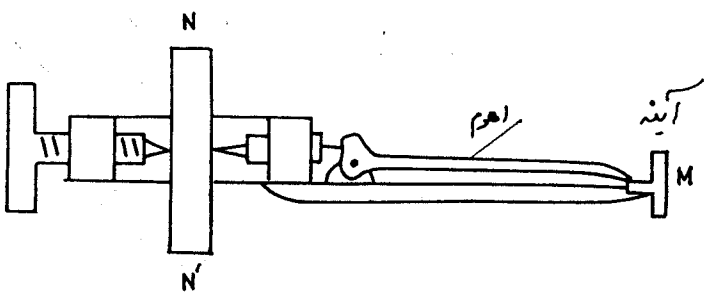
برای تعیین مقادیر P و Q تنش‌های اصلی بطوریکه دیدیم تفاوت $(P-Q)$ نقاط مختلف را میتوان با دقت بسیار زیاد تعیین نمود زیرا این تفاوت تابع اختلاف فاز یا طول موج نور بود که میتوان

از روی شبکه خطوط همرنگ اندازه گیری نمود. حال اگرمقدار (P+Q) را هم درنقاط مربوطه تعیین کنیم مسئله تعیین مقادیر P و Q حل خواهد شد ولی بطوریکه میدانیم طبق قانون فیلون (Filon) .

$$S_z = -\frac{\eta}{E}(P+Q)$$

که درآن S_z تغییر شکل درجهت عمود به‌تنش های (P و Q) و E ضریب ارتجاعی مدل مورد آزمایش و η هم‌ضریب پواسون (Poisson) میباشد که درمورد اجسام پلاستیک شفاف مورد استعمال درمدل‌ها $E = ۲۴۰\ Kg/mm^۲$ و $\eta = ۰٫۳۵$ است.

بدیهی است اگر مقدار تغییر شکل S_z را با یک دستگاه اکستانسومتر (Extensométre) یا (کش سنج) آینه‌ای که دقت اندازه گیری آن درحدود (میکرون) است اندازه بگیریم میتوانیم با استفاده ازفرمول فوق مقدار (P+Q) را تعیین کنیم وبا دقت اندازه گیری‌های‌فوق‌الذکر مقادیرتنش های P و Q با تقریب ده گرم درمیلیمتر مربع مدل بدست خواهد آمد ($۱۰g/mm^۲$) (شکل۸).



(شکل ۸)

بالاخره برای آنکه مقادیر تنش های P و Q حقیقی که درساختمان اصلی موجود است ومدل از روی آن ساخته شده بدست بیاورند ازقوانین تشابه یا (Similitude) استفاده میکنند بدیهی است چون تنش‌ها درسطح اصلی مدل محاسبه میشوند لذا مقادیر P و Q اصلی درسطح مقطع ساختمان بدست خواهد آمد و ضخامت مدل تأثیری در محاسبات ندارد ولی چون عموماً مقیاس کوچک کردن ابعاد ساختمان برای تهیه مدل در جهت افقی و قائم برابر نیستند لذا فرمول تشابه بصورت زیر خواهد بود.

$$\frac{P}{p} = \frac{W}{w} \cdot \frac{l}{L} \cdot \frac{e}{E}$$

که درآن P و p تنش های مربوطه درساختمان و مدل و W و w بارهای وارده و l و L و e و E هم‌ابعاد افقی و قائم مربوط به مدل وساختمان میباشند.

بدیهی است اگر مقیاس کوچک کردن ابعاد ساختمان در هردوجهت مساوی باشد فرمول بالا بصورت :

$$\frac{P}{p} = \frac{W}{w} \cdot \left(\frac{l}{L}\right)^{2}$$

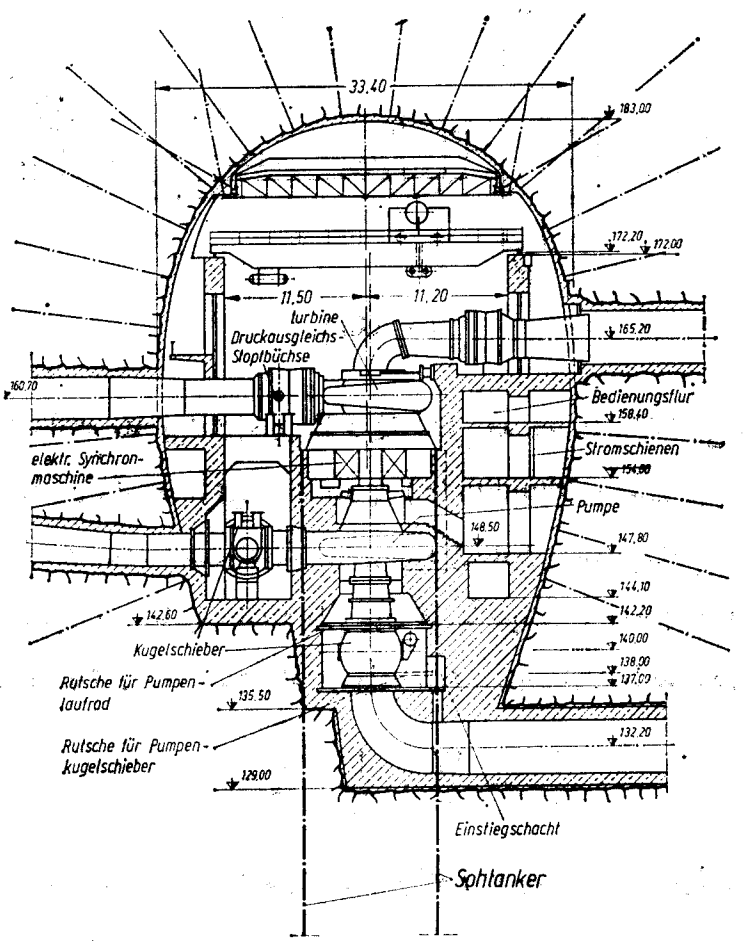
درخواهد آمد که در آزمایش های مربوط به‌ساختمان دهلیز مورد استفاده قرار گرفته است.

بعلاوه برای‌بدست‌آوردن دقت بیشتری‌لازم‌است که‌نسبت‌ضریب های‌ارتجاعی‌ساختمان و مدل‌را هم درنظر گرفت.

شرح روش‌ها و محاسبات و مطالعاتیکه برای ساختمان دهلیز نیروگاه انجام شده است .

۱ - مطالعات زمین شناسی :

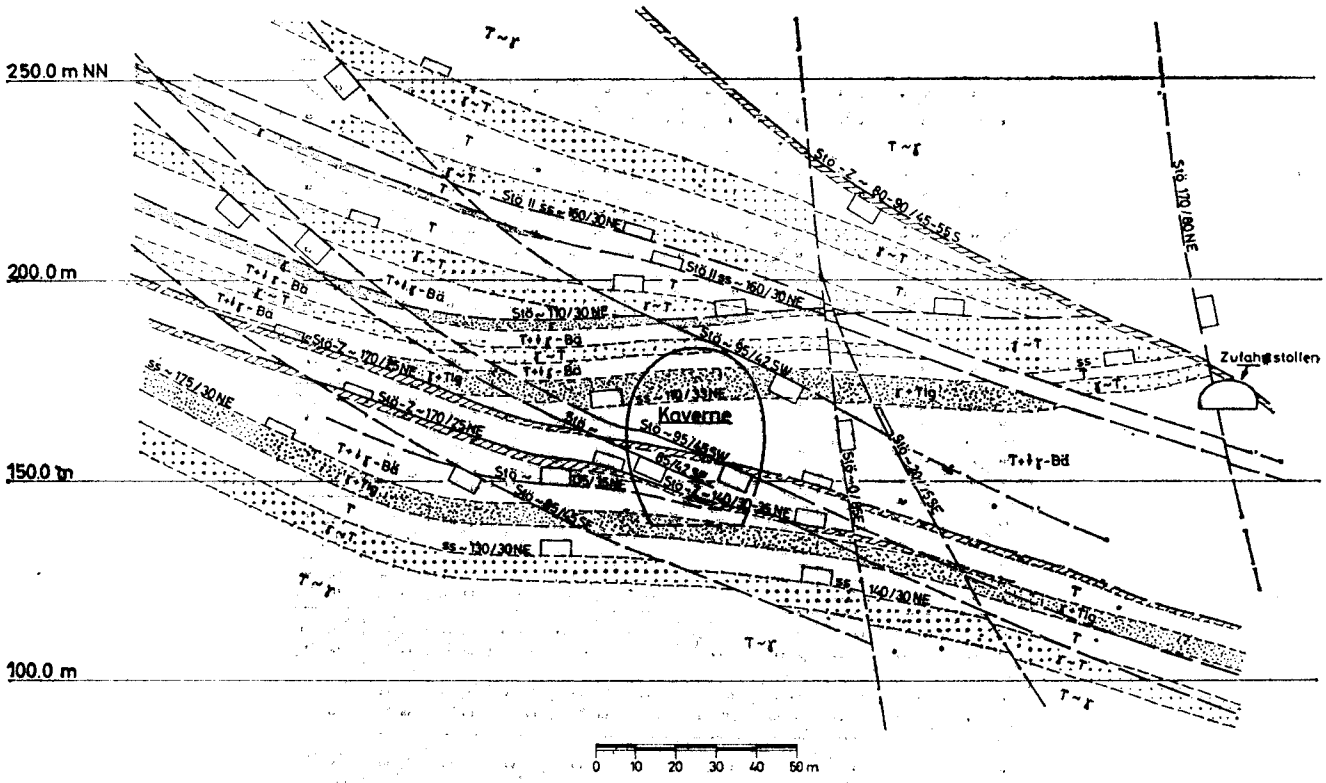
بطوریکه در مقدمه گفته شد دهلیزی که ساختمان آن در دست اقدام است باید دوتوربین بزرگ ۲۴۰۰۰۰ کیلووات با آلترناتور و پمپ‌های مربوطه را با کلیه لوله‌های خروجی ودخولی درخود جای‌دهد و بطوریکه درشکل ۹ دیده میشود مقطع دهلیز بشکل بیضی با قطر کوچک ۳۳٫۵ متر و قطر بزرگ ۴۵ متر درنظر گرفته شده است و طول دهلیز بالغ بر ۱۰۶۰ میباشد و درنتیجه محاسباتی که بعمل آمده است بیضی موردبحث باتوجه به‌اندازه‌وجهت بارها و فشارهای وارده ازلایه های‌مختلف کوه‌مقاوم‌ترین‌نوع مقطع میباشد.



(شکل ۹)

بعلاوه بطوریکه قبلاً یادآوری شد کوهستانی که دهلیز در درون آن ساخته میشود دارای بریدگی های متعدد و سطوح جدائی سست و لغزنده میباشد که دراثر آن گسل هائی هم ایجاد شده است.

نوارها و قشرهای خاك رست و ماسه‌ای که در بین توده‌های سنگ ماسه قرارگرفته است سطوح ناتوانی ازلحاظ مقاومت عمومی دهلیز ایجاد نموده است که میبایستی موقعیت و مشخصات آن ها را بمنظور امکان محاسبات دقیق تعیین نموده و بنابراین از راه دالان‌های متعدد زیرزمینی و نقشه‌برداری از داخل این دالان‌ها موقعیت و مشخصات کلیه این سطوح و لایه ها تعیین شده است و شکل شماره ۹ وضع این سطوح و لایه‌ها و ضخامت و شیب های مختلف آن‌ها و همچنین مناطق درهم ریخته و خرد شده را دریکی ازمقاطع دهلیز بخوبی مشخص مینماید و بطوریکه بعداً خواهیم دید ازهمین مطالعات برای ساختن مدل دهلیز که با روش فتوالاستیسیته یا تنش یابی نوری مورد مطالعه قرارگرفته استفاده شده است (شکل ۱۰).



(شکل ۱۰)

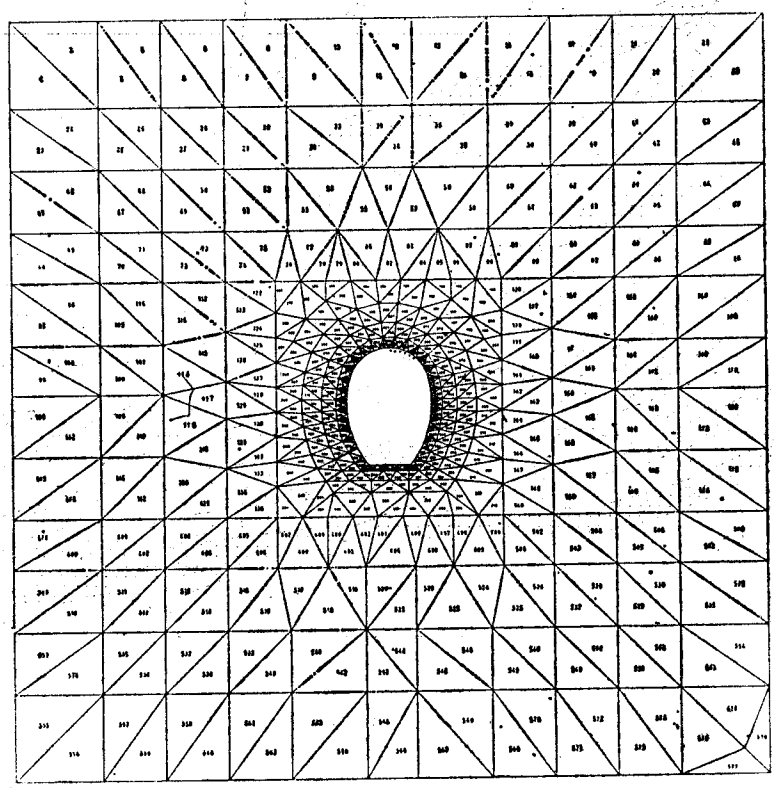
بعلاوه بدلیل وجود این لایه ها و سطوح سست و درهم ریخته لازم شده است که مهارهای پیش‌تنیده فولادی ویک قشر بتون پرتابی بطوریکه درشکل ۹ دیده میشود برای دوختن لایه های سست به لایه های سنگی و جلوگیری از لغزش آنها در تمام محیط مقطع دهلیز نصب گردد. طبق محاسباتیکه انجام شده مهارهای مورد بحث بردونوع میباشند:

نوع اول مهارهای عمیق که طول آن ها بالغ بر ۲۳ متر است و نوع دوم مهارهای سطحی که طول

آن‌ها درحدود ٤ الی٦ متر میباشد مهارهای نوع اول بمنظور دوختن و اتصال لایه های ضخیم سنگی بیکدیگر است ومهارهای نوع دوم برای تقویت پوسته محیط مقطع بکار میرود فاصله مهارهای بزرگ از یکدیگر حداقل ٤ متراست ولی مهارهای کوچک بفواصل ۱٫۳ متر قرارداده شده است. امتداد مهارها تقریباً درجهت شعاع منحنی های محیط مقطع میباشد و بطوریکه بعد ملاحظه خواهد شد این امتدادها به کمک خطوط هم‌شیب که جهت تنش های اصلی را در آزمایش مدل ساختمان آشکار میسازد تعیین شده است.

ضمناً بطوریکه در شکل دیده میشود کندن دهلیز در مراحل مختلف انجام میگیرد و مهارهای تقویتی پیش تنیده هم بتدریج که قسمت‌های کنار محیط مقطع کنده میشود درجای خود قرارداده میشوند.

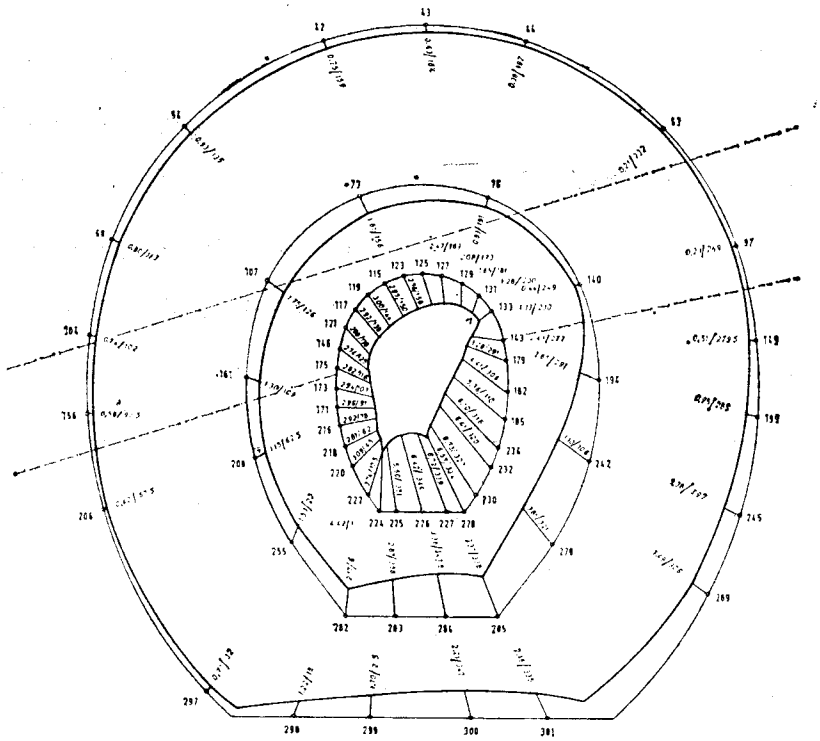
۲- روش های محاسبات - محاسبه عمومی مقطع دهلیز از لحاظ تنش ها وخستگی های مختلف بروش معروف به‌عناصر محدود (Elements Finis) که شبکه آن محاسبات درشکل ۱۱ دیده میشود انجام شده



(شکل ۱۱)

است دراین روش یک مقطع کتابی شکل نازك ازدهلیز و محوطه اطراف آن بابعاد ۳۰۰ متر در ۳۰۰ متر را به‌قطعات کوچک بشکل منشورهای مثلث‌القاعده تقسیم میکنند بطوریکه هرچه به‌محیط مقطع دهلیز نزدیکتر میشویم منشورها کوچک‌تر میشوند و هریک از منشورها که درحقیقت یک پوسته مثلث مشکل است باید تحت‌تأثیر تنش های اصلی و وزن پوسته در تعادل باشد و معادلات این تعادل کلیه تنش های اصلی را

بتدریج بدست خواهد داد ، نتیجهٔ محاسبات در دیاگرام تغییر محل نقاط درشکل ۱۲ ملاحظه میشود که حداکثر تنش‌ها را در محیط مقطع و باجهت واندازه‌های مختلف که ناشی‌ازعدم تساوی بارها و زاویه فشارهای وارده است نشان میدهد.



(شکل ۱۲)

یگانه نقص‌این روش این‌است که‌منشور یا پوسته مورد محاسبه‌را بایدهمگن‌فرض‌نمود درصورتیکه مطالعات زمین‌شناسی عکس آن‌را ثابت کرد و دیدیم که‌لایه‌های مختلف وسطوح جدائی و درهم‌ریختگی‌ها وگسل‌ها یک توده کاملاً غیرهمگن تشکیل میدهند و همین موضوع است که لزوم ساختن مدل یا نمونه با مقیاس کوچک را ایجات مینماید برای محاسبه به‌روش (عناصر محدود) ضرائب و ارقام مورد نیاز که بوسیله اندازه‌گیری در محل یا بوسیله آزمایش بدست آمده بشرح زیر منظور شده است.

۱ - ارتفاع بارکوه در روی کلید طاق ۲۶۳٫۵ متر

۲ - ارتفاع بارکوه در روی پذنه مجاورکف ۳۱۰٫۸۰ متر

۳ - وزن متوسط کوه ۲٫۶۳ تن/m³

٤ - ضریب نسبت فشارهای قائم و افقی $\lambda_1 = 0.50$ $\lambda_2 = 0.25$

٥ - زاویه امتداد فشارکوه با محورهای افقی و قائم ۲۰ درجه

۶ - ضریب ارتجاعی لایه‌ها وسنگ‌های مختلف محوطه دهلیز

$E_1 = ۵۰,۰۰۰ \ Kg/cm^2$

$E_2 = ۷۰,۰۰۰ \ Kg/cm^2$

$E_3 = ۳۰,۰۰۰ \ Kg/cm^2$

کیلوگرم برسانتیمتر مربع

۷ - ضریب پواسون $m_1 = ۳$ و $m_2 = ۵$

۸ - زاویه سایش درونی ۴۰ درجه

۹ - مقاومت چسبندگی ۴ Kg/cm^2 کیلوگرم برسانتیمتر مربع

۱۰ - فشار ماشین‌آلات روی کف دهلیز ۴۰ تن

۱۱ - نیروی یک مهار بزرگ فولادی ۱۲۰ تن

۱۲ - طول مفید هرمهار بزرگ ۱۸ متر

بطوریکه درشکل ۱۲ (تغییر محل نقاط) دیده میشود بدلیل شیب فشارهای وارده تنش‌های سمت راست مقطع دهلیز بیش از تنش‌های سمت چپ مقطع است و بعلاوه این تنش‌ها به‌نسبت زیاد شدن ارتفاع بار از کلید سقف بطرف کف دهلیز بتدریج افزایش مییابند.

ضمناً بطوریکه ملاحظه میشود تنش‌های روی محیط مقطع دهلیز چه ازلحاظ مقدار و چه ازلحاظ جهت قابل ملاحظه است ولی بتدریج که از محیط مقطع دورمیشویم کاهش مییابند و از فاصله ۲۰ متری محیط مقطع به‌بعد این تنش‌ها وضع منظم و یکنواخت و اطمینان بخشی پیدا میکنند.

۳ - آزمایش مدل‌ساختمان دهلیز بروش فتوالاستیسیته - بطوریکه درقسمت اول این‌مقاله گفته‌شد آزمایش‌ها بانور پولاریزه سطحی‌ودائروی‌بمنظورمشاهده خطوط هم‌شیب وهم‌رنگ انجام گرفته‌است بطوریکه دیدیم درمحاسبات بروش (عناصر محدود) منشورهای مقطع دهلیز را همگن فرض میکنند و بنابراین برای آگاهی از تأثیر بریدگی‌ها وسطوح جدائی ولایه‌های‌سست آزمایش مدل ضروری میباشد این‌آزمایش‌ها بروش فتوالاستیسیته یا تنش‌یابی نوری انجام شده است و بطوریکه قبلاً شرح داده شد با عبور نورپولاریزه از نمونه با مقیاس کوچک دهلیز که تحت فشارها وبارهای مربوطه قرارگرفته‌باشد میتوانیم تنش‌های‌ناشی‌از ناهمگنی را بوسیله خطوط هم‌شیب و هم‌رنگ که معرف امتداد تنش‌ها و مقدار آن‌ها هستند روی‌یک پرده تصویر ملاحظه کنیم بعلاوه این آزمایش‌ها برای مراحل مختلف کندن دهلیز (شکل ۱۳) و تعیین بهترین محل برای مهارهای تقویت نیز صورت گرفته است.

با درنظرگرفتن مطالعات زمین شناسی و ترکیب ناهمگن کوهستانی که دهلیز درآن ساخته میشود دونمونه یا درحقیقت دونوع نمونه تهیه شده است که درشکل های (۱۴ و ۱۵) دیده میشود.

بقیه مطالب بعد از آخرین مقاله