



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی منطقه پلاستیک اطراف تونل‌های زیر سطح آب جهت

رسم منحنی مشخصه‌ی زمین در شرایط زهکشی شده

استاد راهنما:

آقای دکتر ناصر عرفاتی

استاد مشاور:

آقای دکتر وحید مقصودی

دانشجو:

سعید امیری

سورة الاحقاف

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی منطقه پلاستیک اطراف تونل‌های زیر سطح آب جهت

رسم منحنی مشخصه‌ی زمین در شرایط زهکشی شده

استاد راهنما:

آقای دکتر ناصر عرفاتی

استاد مشاور:

آقای دکتر وحید مقصودی

دانشجو:

سعید امیری

**با تشکر و قدردانی بی‌پایان از اساتید عزیز، جناب آقایان
دکتر عرفانی و دکتر مقصودی.**

چکیده

یکی از روش‌های تحلیل و طراحی تونل‌ها، روش همگرایی و همجواری می‌باشد که عنصر اصلی آن منحنی مشخصه زمین بوده که بر اساس جابجایی شعاعی تونل با کاهش فشار داخلی از تونل (ناشی از پوشش) ترسیم می‌شود. این منحنی مشخصه شامل دو محدوده الاستیک و پلاستیک اطراف تونل می‌باشد که در صورت کمتر بودن فشار پوشش از یک مقدار خاص منطقه اطراف تونل وارد رفتار پلاستیک می‌شود که طراحی بهینه نیز بر همین اساس می‌باشد. مطالعات با استفاده از این روش برای وضعیت تونل در شرایط خشک آغاز شد و روابط تحلیلی بر اساس معیارهای خرابی مختلف گسترش یافت، لیکن در شرایطی که توده اطراف تونل اشباع بوده و به اصطلاح تونل زیر سطح آب زیر زمینی قرار گیرد رفتار این منحنی متفاوت بوده و بایستی این منحنی با توجه به تغییرات فشار آب و نیروی تراوش ترسیم شود. در این پایان‌نامه بر اساس معیار الاستوپلاستیک موهر کولمب معادلات ارائه شده است که این معادلات حاصله به صورت کاملاً تحلیلی بوده و شعاع پلاستیک اطراف تونل با حل یک معادله تحلیلی خطی استخراج شده و در نهایت با مطالعات جابجایی منحنی مشخصه ترسیم می‌گردد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه و کلیات
۱-۱-۱-۱	مقدمه..... ۱
	فصل دوم: بررسی تحلیلی وضعیت تنش و کرنش‌ها و رسم منحنی همگرایی زمین در تونل‌های زیر سطح آب
۱-۲-۱-۲	کلیات..... ۲
۲-۲-۲-۲	بررسی تحلیلی وضعیت تنش و کرنش‌ها..... ۲
۱-۲-۲-۲	روش (Muir Wood., 1975)..... ۲
۲-۲-۲-۲	روش (Curtis et al., 1976)..... ۳
۳-۲-۲-۲	روش (Fernandez and Alvarez., 1994)..... ۳
۴-۲-۲-۲	روش (Bobet., 2003)..... ۴
۱-۴-۲-۲	بررسی تحلیلی تنش‌ها و جابجایی‌ها در شرایط زهکشی نشده..... ۶
۱-۱-۴-۲-۲	جابجایی و تنش‌های وارد بر زمین ناشی از آب با فرض شرایط مرزی..... ۷
۲-۱-۴-۲-۲	نیروهای وارد بر پوشش تونل ناشی از آب..... ۷
۲-۴-۲-۲	بررسی تحلیلی تنش‌ها و جابجایی‌ها در شرایط زهکشی شده..... ۸
۱-۲-۴-۲-۲	جابجایی و تنش‌های وارد بر زمین ناشی از آب با فرض شرایط مرزی..... ۹
۵-۲-۲-۲	روش تحلیلی (Wang Xiuying et al., 2008) براساس رابطه جریان (Bear., 1972) محاسبه تنش‌ها ناشی از فشار آب..... ۱۰
۶-۲-۲-۲	روش تحلیلی (Schleiss., 1997)..... ۱۶
۳-۲-۲-۲	بررسی منحنی همگرایی زمین..... ۱۹
۱-۳-۲-۲	روش تحلیل پلاستیک (Seok-Woo Lee., 2006)..... ۱۹
۱-۱-۳-۲	کلیات روش..... ۱۹
۲-۱-۳-۲	حل تحلیلی برای تنش..... ۱۹
۳-۱-۳-۲	تحلیل جابجایی..... ۲۵
۲-۳-۲-۲	روش تحلیل پلاستیک (Shin et al., 2010)..... ۲۸
۱-۲-۳-۲	تحلیل تنش..... ۲۸
۲-۲-۳-۲	تحلیل جابجایی..... ۳۵
۳-۲-۳-۲	جمع‌بندی و بررسی روش..... ۳۷
	فصل سوم: مدل تحلیلی پیشنهادی
۱-۳-۱-۳	کلیات..... ۳۹
۲-۳-۱-۳	آنالیز هیدرولیکی..... ۴۰
۳-۳-۱-۳	آنالیز تنش و کرنش..... ۴۲
۴-۳-۱-۳	تحلیل تنش-کرنش، محاسبه شعاع منطقه پلاستیک..... ۴۹
۵-۳-۱-۳	ارائه‌ی راه حل تئوری برای جابجایی..... ۵۰

فصل چهارم: مقایسه با سایر روش‌ها

۵۳.....	۴-۱- کلیات.....
۵۳.....	۴-۲- صحت سنجی روش پیشنهادی.....
۵۷.....	۴-۳- آنالیز حساسیت.....
۵۷.....	۴-۳-۱- کلیات.....
۵۷.....	۴-۳-۲- بررسی تاثیر شعاع حفر تونل.....
۵۸.....	۴-۳-۳- بررسی تاثیر مدول الاستیسیته.....
۵۹.....	۴-۳-۴- بررسی تاثیر شعاع ناحیه تراوش.....
۶۰.....	۴-۳-۵- بررسی تاثیر ضریب پواسون.....
۶۱.....	۴-۳-۶- بررسی تاثیر تغییرات چسبندگی توده.....
۶۲.....	۴-۳-۷- بررسی تاثیرات تغییر در زاویه اصطکاک داخلی توده.....
۶۳.....	۴-۳-۸- بررسی تغییرات پارامترهای مناطق الاستیک و پلاستیک اطراف تونل.....
۶۴.....	۴-۳-۸-۱- بررسی تاثیر زاویه اصطکاک ناحیه پلاستیک.....
۶۵.....	۴-۳-۸-۲- بررسی تاثیر چسبندگی ناحیه پلاستیک.....
۶۶.....	۴-۳-۸-۳- بررسی تاثیر توام چسبندگی و زاویه اصطکاک ناحیه پلاستیک.....
۶۷.....	۴-۳-۹- بررسی وضعیت قرار گیری در اعماق مختلف.....
۷۰.....	۴-۳-۱۰- بررسی تاثیر شعاع تونل بر شعاع ناحیه پلاستیک.....

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۷۲.....	۵-۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....
۷۳.....	۵-۲- پیشنهادات برای تحقیقات آتی.....

فهرست علائم و اختصارات

فهرست منابع

پیشگفتار

این پایان نامه با توجه به اهداف تعریف شده در ۵ فصل دسته بندی شده است:

فصل اول با عنوان مقدمه بوده که توضیح کلی از هدف و روش و روند معادلات می باشد.

فصل دوم با عنوان بررسی تحلیلی وضعیت تنش و کرنش ها و رسم منحنی همگرایی زمین در تونل های زیر سطح آب بوده که به بررسی روش های موجود در محاسبه ی تنش و کرنش ها و رسم منحنی مشخصه می پردازد که در مورد رسم منحنی مشخصه به کلی دو روش تحلیلی وجود دارد که به طور کامل مورد بحث و بررسی قرار می گیرد و نکات قوت و ضعف هر یک بیان می گردد.

فصل سوم با عنوان روش پیشنهادی بوده که با توجه به معایب روش های موجود در فصل دوم یک روش تحلیلی ساده که بدون نیاز به نرم افزار گسترش یافته بیان می گردد، و روند کلی تحلیل هیدرولیکی و تحلیل تنش ها و کرنش ها توضیح داده می شود.

فصل چهارم با عنوان مقایسه روش پیشنهادی بوده که به بررسی چند مثال با روش های موجود و روش پیشنهادی پرداخته و نتایج آنها به صورت مقایسه ای مورد بررسی قرار می گیرد.

فصل پنجم به جمع بندی کلی و مزایای و معایب روش پرداخته و نکات کلی آن بیان می شود و در انتهای فصل پیشنهادات برای مطالعات آتی جهت گسترش این روش و بالا بردن دقت ارائه می گردد

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

یکی از روش‌های تحلیل و طراحی تونل‌ها، روش همگرایی و همجواری می‌باشد که بر این اساس سه عنصر اصلی تعریف می‌شود: پروفیل تغییر شکل طولی، منحنی مشخصه زمین و منحنی مشخصات پوشش. منحنی مشخصه زمین بر اساس جابجایی شعاعی تونل با کاهش فشار داخلی از تونل (ناشی از پوشش) ترسیم می‌شود و در انتها با ترسیم منحنی مشخصات پوشش یک طراحی بهینه بر اساس اندرکنش رفتاری بین پوشش و توده سنگ صورت می‌پذیرد.

این منحنی مشخصه شامل دو محدوده الاستیک و پلاستیک اطراف تونل می‌باشد که در صورتی که فشار پوشش در حد بالایی باشد منطقه پلاستیک در اطراف تونل تشکیل نشده و این منحنی بصورت یکنواخت تغییر می‌کند ولی در صورت کمتر بودن فشار پوشش، منطقه اطراف تونل وارد رفتار پلاستیک می‌شود که طراحی بهینه نیز بر همین اساس می‌باشد.

مطالعات با استفاده از این روش برای وضعیت تونل در شرایط خشک گسترش یافته و روابط تحلیلی بر اساس معیارهای خرابی مختلف ارائه شده است، لیکن در شرایطی که توده اطراف تونل اشباع بوده و به اصطلاح تونل زیر سطح آب زیر زمینی قرار گیرد رفتار این منحنی متفاوت بوده و بایستی این منحنی با توجه به تغییرات فشار آب و نیروی تراوش ترسیم شود.

با توجه به اینکه برای ترسیم این منحنی در تونل‌های زیر سطح آب تحقیقات مختصری صورت گرفته که آنها نیز با ریاضیات پیچیده و بصورت نیمه تحلیلی بوده که نیاز به نرم افزارهای خاصی می‌باشد لذا در این پایان‌نامه بر اساس معیار الاستوپلاستیک موهر کولمب معادلات تحلیلی ارائه شده است که به راحتی منحنی مشخصه زمین برای این تونل‌ها قابل ترسیم می‌باشد.

معادلات حاصله به صورت کاملاً تحلیلی بوده و شعاع پلاستیک اطراف تونل با حل یک معادله تحلیلی خطی بر اساس این معادلات قابل استخراج بوده و در نهایت با مطالعات جابجایی منحنی مشخصه زمین در ناحیه رفتاری پلاستیک ترسیم می‌گردد، مزیت روش ارائه شده سادگی معادلات بوده که به راحتی و با استفاده از مفاهیم کلی حاکم بر روش همگرایی و همجواری گسترش یافته است.

فصل دوم

بررسی تحلیلی وضعیت تنش و کرنش‌ها و رسم منحنی همگرایی زمین در تونل - های زیر سطح آب

۲-۱- کلیات:

در تونل‌های زیر سطح آب با توجه شرایط مختلف زهکشی پدیده تراوش و حرکت آب به سمت داخل تونل مورد بحث می‌باشد که در این فصل چندین روش جهت محاسبات تنش ناشی از این حرکت آب ارائه شده و نقاط ضعف و قوت هر یک مورد بحث قرار می‌گیرد.

همچنین همانطور که گفته شد یکی از روش‌های تحلیل و طراحی تونل‌ها روش همگرایی و همجواری می‌باشد که بر مبنای منحنی مشخصه زمین تحلیل صورت می‌گیرد، در این راستا دو روش کلی جهت طراحی با این روش بر اساس معیار موهر-کولمب به صورت تحلیلی وجود دارد که در این فصل مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و نقاط ضعف و قوت هر یک توضیح داده می‌شود.

۲-۲- بررسی تحلیلی وضعیت تنش و کرنش‌ها

۲-۲-۱- روش (Muir Wood., 1975) [1]

در این روش تنش‌های مماسی و شعاعی ناشی از تراوش را بدین صورت ارائه کرد:

$$\sigma_r = \frac{q[a^2 \ln a - r^2 \ln r]}{2k(1-\nu)r^2} \quad (1-2)$$

$$\sigma_\theta = \frac{q}{k} \left[1 - \frac{a^2 \ln a + r^2 \ln r + r^2}{2(1-\nu)r^2} \right]$$

که در این روابط:

q دبی آب ورودی به داخل تونل

k نفوذپذیری توده سنگ اطراف

ν ضریب پواسون زمین

a شعاع تونل

[1](Curtis et al., 1976) ۲-۲-۲-۲ روش

$$\sigma_r = \left(\ln R - \frac{a^2}{a^2 - R^2} \ln \left(\frac{R}{a} \right) \right) \frac{q}{2k(1-\nu)} \quad (2-2)$$

$$+ \frac{R^2 a^a}{a^2 - R^R} \ln \left(\frac{R}{a} \right) \frac{q}{2k(1-\nu)} - \frac{q \ln r}{2k(1-\nu)}$$

$$\sigma_\theta = \left(\ln R - \frac{a^2}{a^2 - R^2} \ln \left(\frac{R}{a} \right) \right) \frac{q}{2k(1-\nu)} - \frac{R^2 a^2}{a^2 - R^R} \ln \left(\frac{R}{a} \right) \frac{q}{r^2}$$

$$- \frac{q \ln r}{2k(1-\nu)} - \frac{q}{2k(1-\nu)} + \frac{q}{k}$$

که در این روابط: R شعاع تاثیر تراوش می‌باشد

[1](Fernandez and Alvarez., 1994) ۳-۲-۲-۲ روش

تنش‌های مماسی و شعاعی ناشی از تراوش را بدین صورت ارائه کرد:

$$\sigma'_r = \gamma_w h_0 \times \frac{1}{2(1-\nu)} \left\{ \left(\frac{a^2}{r^r} - 1 \right) + \frac{2 \ln \frac{r}{a} + [(1-2\nu)T - 2(1-\nu)] \ln \frac{r^2 - a^2}{a^2 T}}{\ln T} \right\} \quad (3-2)$$

$$\sigma'_\theta = \gamma_w h_0 \times \frac{-1}{2(1-\nu)} \left\{ \left(\frac{a^2}{r^r} + 1 \right) - \frac{2 \ln \frac{r}{a} - [(1-2\nu)T + 2\nu] \ln \frac{r^2 - a^2}{a^2 T}}{\ln T} \right\}$$

که در آن h_0 ارتفاع آب تا محور تونل و $T = 1 + \frac{4h_0^2}{r^2}$ می‌باشد.

که سه روش اول بدون ریز توضیحات از منبع (Shin et al., 2010) استخراج شده‌اند. [1]

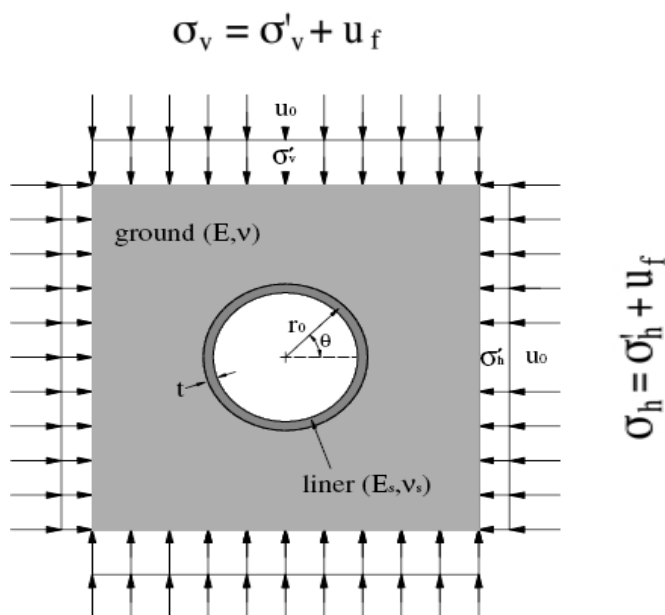
۲-۲-۴- روش (Bobet., 2003)

این محقق در بررسی استاتیکی تونل‌ها دو وضعیت را برای ناحیه سطح مشترک زمین و پوشش متصور شد:

کاملاً زهکشی شده

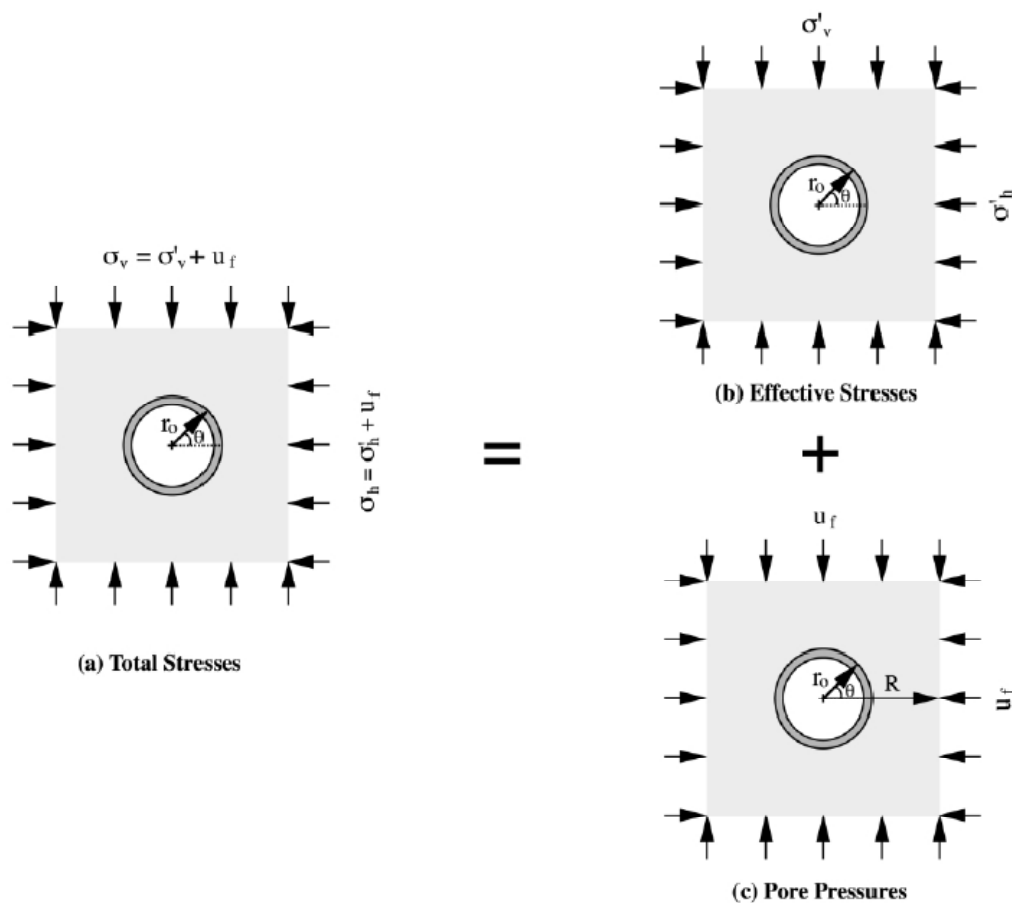
زهکشی نشده

در وضعیت کاملاً زهکشی شده فشار آب حفره ای u در سطح مشترک صفر بوده ولی جریان آب به داخل تونل را خواهیم داشت. در وضعیت زهکشی نشده فشار آب حفره ای برابر با فشار آب حفره ای موجود u_f بوده و جریانی در کار نیست (شکل ۲-۱).



شکل (۲-۱) - وضعیت زهکشی شده و زهکشی نشده سطح مشترک زمین و پوشش [2]

این وضعیت زهکشی شده یا نشده بستگی کامل به نفوذپذیری زمین و حایل دارد. وضعیت زهکشی شده و یا نشده در شکل (۲-۲) کاملاً مشهود بوده و این مسئله می‌تواند بر اساس جمع آثار به دو مسئله تجزیه شود که در شکل (۲-۲) دیده می‌شود.



شکل (۲-۲) - تجزیه وضعیت تنش کل به دو حالت موثر و آب [2]

که تنش کل درجا در زمین به تنش موثر (۲-۲-ب) و فشار آب حفره ای (۲-۲-ج) تجزیه می‌شود. مسئله در وضعیت تنش موثر (شکل ۲-۲-ب) را می‌توان بوسیله روش صلبیت نسبی حل کرد و تنش‌های وارده در بررسی پایداری و نیروهای وارد بر پوشش تنش‌های موثر می‌باشد.

در بررسی وضعیت فشار آب (شکل ۲-۲-ج) تعادل بین زمین و پوشش زمانی محقق می‌شود که تغییر مکان زمین در دیواره های تونل همزمان با تغییر مکان پوشش باشد و یک انتقال تنش بین زمین و پوشش رخ دهد. این موضوع نیازمند برابری تنش شعاعی σ_r و تغییر مکان شعاعی U_r زمین و پوشش در جداره تونل می‌باشد، به لحاظ وضعیت تقارن در مسئله تغییر مکان‌های مماسی و تنش‌های برشی صفر می‌باشد لذا دو شرایط مرزی را خواهیم داشت:

(۴-۲)

$$\begin{aligned} (U_r)_{ground} &= (U_r)_{liner} \quad \text{at} \quad r=r_0 & ; & \quad U_r |_{r=r_0} = U_r^s \\ (\sigma_r)_{ground} &= (\sigma_r)_{liner} \quad \text{at} \quad r=r_0 & ; & \quad \sigma_r |_{r=r_0} = \sigma_r^s \end{aligned}$$

۲-۴-۱- بررسی تحلیلی تنش‌ها و جابجایی‌ها در شرایط زهکشی نشده

در شرایط زهکشی نشده کل فشار آب حفره ای در سطح مشترک تونل و پوشش موجود می‌باشد، پوشش بایستی بدلیل سازگاری تغییر مکان بین تونل و پوشش به داخل تونل تغییر مکان دهد و زمین به تبعیت از پوشش این تغییر شکل را انجام می‌دهد بنابراین مقداری از بار فشار آب را زمین متحمل می‌شود، با این عمل فشار آب در سطح مشترک زمین و پوشش بین این دو تقسیم می‌شود.

در بررسی سطح مشترک و فشار آب حفره ای دیده می‌شود که در دیواره های تونل تنش شعاعی $\sigma_{r_0}^g$ به صورت کششی بر زمین وارد می‌شود و تنش شعاعی σ_r^s به صورت فشاری بر پوشش وارد می‌شود که این دو را به تعادل می‌رسانند.

$$\sigma_{r_0}^g + \sigma_r^s = u_f \quad \text{or} \quad \sigma_{r_0}' = \sigma_{r_0}^g = u_f - \sigma_r^s \quad (5-2)$$

حل این مسئله برای یک تونل با مقطع دایره به صورت زیر می‌باشد: [3]

$$\sigma_r' = \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2} \left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right) \sigma_{r_0}' \quad (6-2)$$

$$\sigma_{\theta}' = \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2} \left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right) \sigma_{r_0}'$$

$$u = u_f$$

$$U_r = \frac{1 + \nu}{E} \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2} r \left(1 - 2\nu + \frac{R^2}{r^2}\right) \sigma_{r_0}'$$

$$U_{\theta} = 0$$

R : فاصله شرایط مرزی از مرکز تونل (شکل ۲-۲)

جابجایی شعاعی در پوشش دایروی با تنش شعاعی خارجی σ_r^s بدین صورت به دست می‌آید:

$$U^s = \frac{1 - \nu_s^2}{E_s} \frac{\sigma_r^s r_0^2}{t} \quad (7-2)$$

برای شرایط مرزی $R \gg r_0$ و با استفاده از معادلات (۶-۲) و (۷-۲) تنش شعاعی σ_r^s وارد بر پوشش از رابطه زیر به دست می‌آید:

(۸-۲)

$$\sigma_r^s = \frac{E_s(1+\mathcal{G})t}{E_s(1+\mathcal{G})t + E(1-\mathcal{G}_s^2)r_0} u_f$$

که در این روابط:

$E; \vartheta$: ضریب پواسون و مدول یانگ زمین

$E_s; \vartheta_s$: ضریب پواسون و مدول یانگ پوشش

۲-۲-۴-۱-۱- جابجایی و تنش‌های وارد بر زمین ناشی از آب با فرض شرایط مرزی $R \gg r_0$ [4]

همانطور که دیده شد در صورت وجود آب در محل میتوان مسئله را به دو بخش تقسیم کرد که بخش اول تنش موثر میباشد که طبق روال شرایط خشک ولی با تنش موثر به دست می‌آید و بخش دوم آب بوده که باید بررسی شود که در این بخش تنش‌ها و جابجایی ناشی از آب در شرایط زهکشی شده محاسبه شده است .

$$U_r = \frac{1+\mathcal{G}}{E} \frac{r_0^2}{r} u_f \left[\frac{E(1-\mathcal{G}_s^2)r_0}{E_s(1+\mathcal{G})t + E(1-\mathcal{G}_s^2)r_0} \right] \quad (9-2)$$

$$\sigma_r' = -\frac{r_0^2}{r^2} u_f \left[\frac{E(1-\mathcal{G}_s^2)r_0}{E_s(1+\mathcal{G})t + E(1-\mathcal{G}_s^2)r_0} \right]$$

$$\sigma_\theta' = \frac{r_0^2}{r^2} u_f \left[\frac{E(1-\mathcal{G}_s^2)r_0}{E_s(1+\mathcal{G})t + E(1-\mathcal{G}_s^2)r_0} \right]$$

۲-۲-۴-۱-۲- نیروهای وارد بر پوشش تونل ناشی از آب

تنش شعاعی وارد بر پوشش از رابطه (۸-۲) محاسبه شد که بر اساس تئوری پوسته ضخیم (thick shells) باعث به وجود آمدن یک نیروی محوری فشاری یکنواخت بر پوشش تونل می‌شود: [2]

$$T = \frac{E_s(1+\mathcal{G})r_0}{E_s(1+\mathcal{G})t + E(1-\mathcal{G}_s^2)r_0} u_f t \quad (10-2)$$

$$M = 0$$

برای پوشش کاملاً تراکم ناپذیر (صلب) $\frac{E}{E_s} \approx 0$ مقادیر نیروها

برابر می‌شود با:

$$T = u_f r_0 \quad (11-2)$$

$$M = 0$$

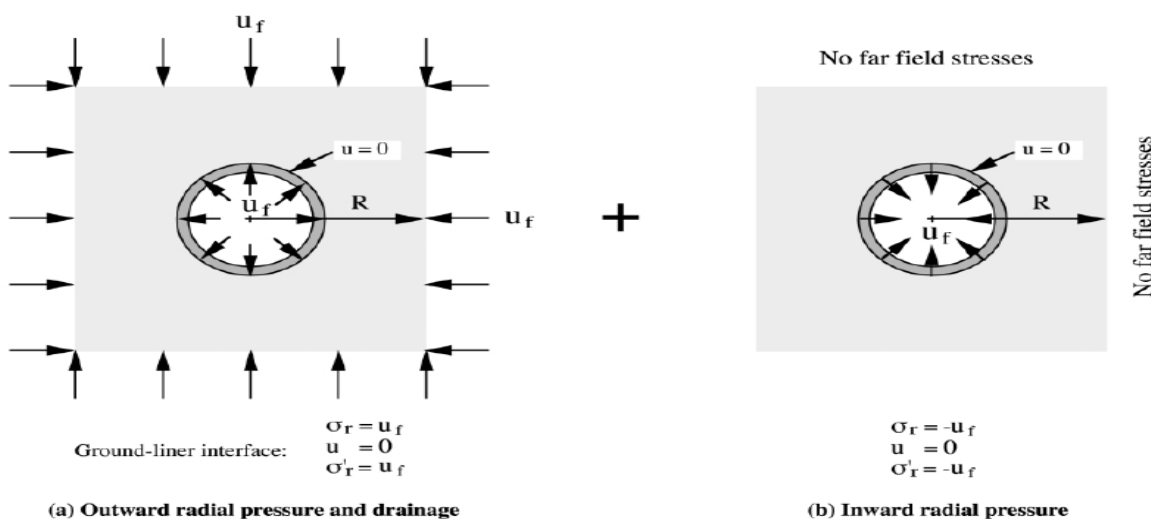
در این وضعیت پوشش باید کل فشار آب حفره‌ای را به علت عدم جابجایی و انتقال بار به زمین تحمل کند.

در نهایت تنش‌های وارد بر پوشش بوسیله معادلات (۸-۲) و (۹-۲) که تنش‌های شعاعی و مماسی ناشی از آب می‌باشند محاسبه شده که بایستی با تنش‌های ناشی از بررسی وضعیت تنش موثر (شکل ۲-۲-ب) جمع گردند.

۲-۲-۴-۲- بررسی تحلیلی تنش‌ها و جابجایی‌ها در شرایط زهکشی شده

تونل در وضعیت کاملاً زهکشی شده را می‌توان به دو صورت تنش موثر (شکل ۲-۲-ب) و فشار آب حفره ای (شکل ۲-۲-ج) تقسیم کرد که برای وضعیت تنش موثر مقادیر نیروها از روش صلبیت نسبی قابل محاسبه می‌باشد، برای بررسی وضعیت فشار آب در شرایط زهکشی شده بدین صورت عمل می‌کنیم که این حالت را به دو قسمت تجزیه می‌کنیم:

- تونل در معرض فشار داخلی رو به بیرون u_f و شرایط زهکشی کامل (شکل ۲-۳-ا)
- تونل در معرض فشار داخلی رو به داخل u_f و شرایط زهکشی کامل (شکل ۲-۳-ب)



شکل (۲-۳) - تجزیه فشار آب حفره ای برای شرایط کاملاً زهکشی شده مشترک تونل و پوشش [2]

ابتدا وضعیت اول را مورد بررسی قرار می‌دهیم، در این حالت فرض می‌شود که گویا تونل بدون پوشش می‌باشد و این زمانی صحیح است که هیچ باری بر پوشش تونل وارد نشود، تنش‌ها و جابجایی‌ها در این حالت از روابط زیر محاسبه می‌شوند. [3]

$$\sigma'_r = \frac{1-2\vartheta}{2(1-\vartheta)} \frac{r_0^2}{R^2-r_0^2} u_f \left[\left(\frac{R}{r} \right)^2 - 1 \right] + \frac{u_f}{2(1-\vartheta)} \frac{\ln \frac{R}{r}}{\ln \frac{R}{r_0}}$$

$$\sigma'_\theta = -\frac{1-2\vartheta}{2(1-\vartheta)} \frac{r_0^2}{R^2-r_0^2} u_f \left[\left(\frac{R}{r} \right)^2 + 1 \right] + \frac{u_f}{2(1-\vartheta)} \frac{\ln \frac{R}{r} + 1 - 2\vartheta}{\ln \frac{R}{r_0}} \tag{۲-۱۲}$$

$$U_r = \frac{(1-\vartheta)(1-2\vartheta)}{2(1-\vartheta)E} \left[-\frac{r_0^2}{R^2-r_0^2} u_f \frac{R^2 + (1-2\vartheta)r^2}{r} + \frac{u_f r}{\ln \frac{R}{r_0}} \left(\ln \frac{R}{r} + 1 - \vartheta \right) \right]$$

$$U_\theta = 0$$

۲-۲-۴-۱- جابجایی و تنش‌های وارد بر زمین ناشی از آب با فرض شرایط مرزی $R \gg r_0$ [2]

با فرض شرط مرزی $R \gg r_0$ معادلات (۲-۱۲) به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\sigma'_r = \frac{u_f}{2(1-\mathcal{G})} \left[1 + (1-2\mathcal{G}) \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \right] \quad (۲-۱۳)$$

$$\sigma'_\theta = \frac{u_f}{2(1-\mathcal{G})} \left[1 - (1-2\mathcal{G}) \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \right]$$

$$U_r = \frac{(1+\mathcal{G})(1-2\mathcal{G})}{2(1-\mathcal{G})} \frac{u_f}{E} \frac{r^2 - r_0^2}{r}$$

با توجه به معادلات (۲-۱۳) دیده می‌شود که در جداره تونل $r = r_0$ جابجایی شعاعی صفر می‌شود، از این نکته این موضوع قابل دستیابی می‌باشد که در وضعیت شکل (۲-۳-ا) هیچ تاثیری در جابجایی جدار تونل ندارد و لذا هیچ تاثیری بر نیروی وارد بر پوشش ندارد، این موضوع صحت فرض اولیه تونل بدون پوشش را دربردارد.

در بررسی وضعیت دوم مربوط به شکل (۲-۳-ب)، تنش وارد بر پوشش و جابجایی‌های وارده مانند وضعیت شکل (۲-۲-ج) در شرایط زهکشی نشده می‌باشد و نیروی وارد بر پوشش از رابطه (۲-۱۰) به دست می‌آید، جابجایی زمین نیز از رابطه (۲-۹) قابل محاسبه می‌باشد.

دیده می‌شود تنش‌های وارد بر پوشش تونل ناشی از آب مستقل از وضعیت زهکشی سطح مشترک زمین و پوشش می‌باشد و هر دو مقدار یکسانی را دارا هستند.

این موضوع توسط (Lambe and Whitman., 1969) که با اصل نیروی تراوش محاسباتی را انجام داده بودند نیز حاصل شده بود که نیروی وارد بر پوشش تونل مستقل از وضعیت زهکشی سطح مشترک می‌باشد. [5]

بنابراین جابجایی حاصل از آب در شرایط زهکشی شده اجماع تغییر مکان‌های حاصله در وضعیت اشکال (۲-۳-ب) و (۲-۳-ا) (-) می‌باشد. [4]

$$U_r = \left[\frac{(1+\mathcal{G})(1-2\mathcal{G})}{2(1-\mathcal{G})E} (r^2 - r_0^2) + \frac{(1+\mathcal{G})(1-\mathcal{G}_s^2)}{E_s(1+\mathcal{G})t + E(1-\mathcal{G}_s^2)r_0} r_0^3 \right] \frac{u_f}{r} \quad (۲-۱۴)$$

در بررسی‌ها برای هر دو شرایط زهکشی توجه به دو پارامتر زیر مهم می‌باشد:

پارامتر نسبت سختی $\frac{E}{E_s}$ که نشان دهنده رفتار نرم و سخت زمین را نشان می‌دهد که هر چه این نسبت کمتر باشد زمین رفتار

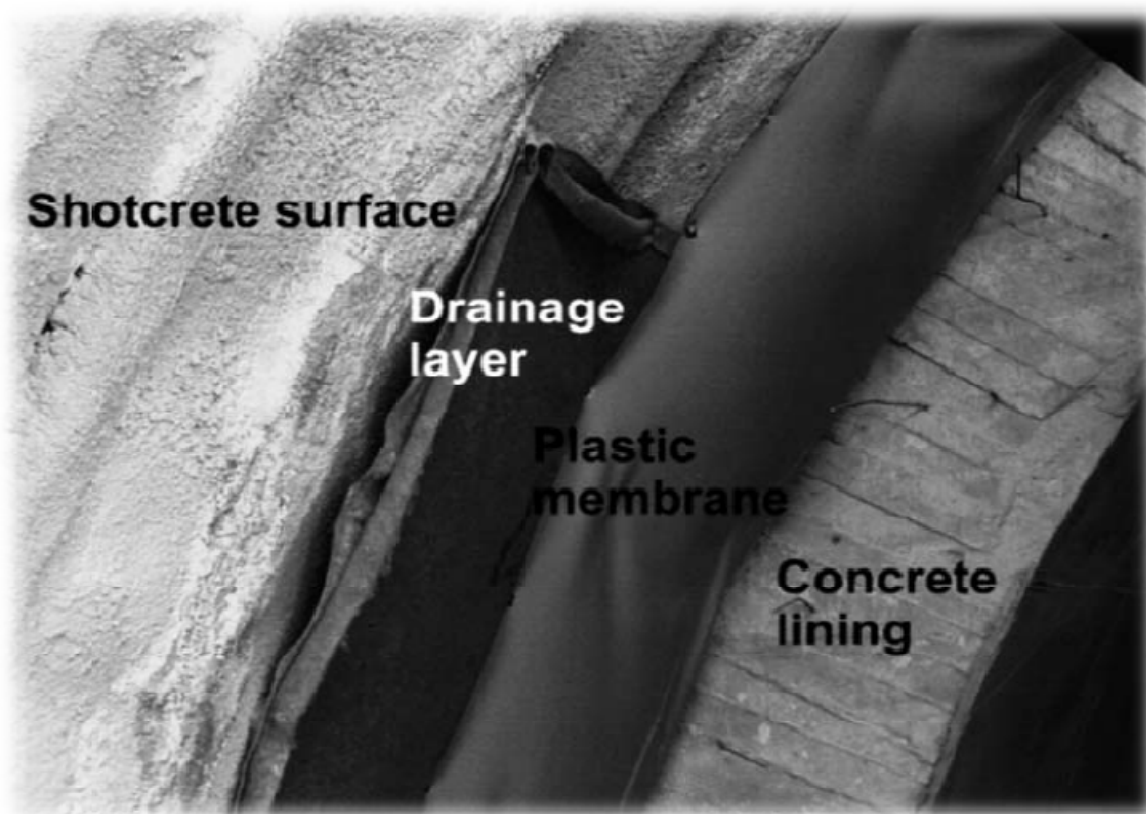
نرمتر از خود نشان می‌دهد و تنش وارده بر پوشش تونل کاهش پیدا می‌کند.

کوچکی ضریب پواسون در بررسی‌ها کاهش بیشینه تنش وارد بر پوشش را در بر دارد.

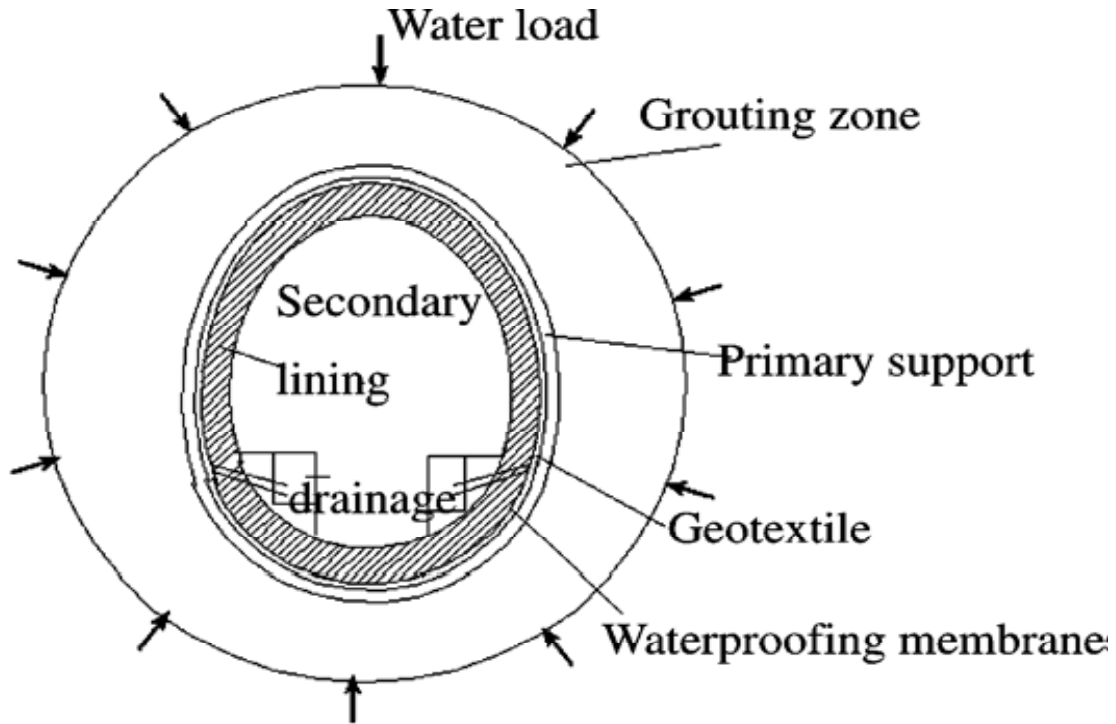
نکته قابل توجه در این بررسی عمیق بودن تونل‌ها می‌باشد که عمق قرار گیری تونل بیشتر از شعاع تونل باشد و در محیط سنگی، در غیر این صورت شرایط زهکشی بر تنش‌های وارد بر پوشش تاثیر گذار است، تنش وارد بر پوشش در شرایط زهکشی در تونل‌های سطحی تا 30% تنش در شرایط زهکشی نشده می‌رسد. [6]

۲-۲-۵- روش تحلیلی (Wang Xiuying et al., 2008) براساس رابطه جریان (Bear,1972) محاسبه تنش‌ها ناشی از فشار آب

برای تونل‌های زیر سطح آب در شرایط زهکشی شده برای کنترل آب و زهکشی کامل در اکثر موارد و مخصوصا تونل‌های احداثی به روش (NATM) می‌توان از دو پوشش تحت عناوین اولیه و ثانویه استفاده کرد، پوشش اولیه بایستی در برابر نیرو-های حاصل از حفاری مقاومت کند چون پوشش ثانویه با تاخیر از پوشش اولیه اجرا می‌شود و پوشش ثانویه بارهای حاصل از بهره برداری را متحمل می‌شود، بین این دو پوشش برای زهکشی آب نفوذی می‌توان از الیاف زهکش استفاده کرد و از یک غشای نفوذ ناپذیر برای جلوگیری از نشت آب به داخل تونل استفاده می‌شود. اشکال (۲-۴) و (۲-۵)



شکل (۲-۴) - پوشش اولیه و ثانویه با لایه زهکش و غشای غیر قابل نفوذ آب بند [7]



شکل (۲-۵) - پوشش اولیه و ثانویه با لایه زهکش و غشای غیر قابل نفوذ [8]

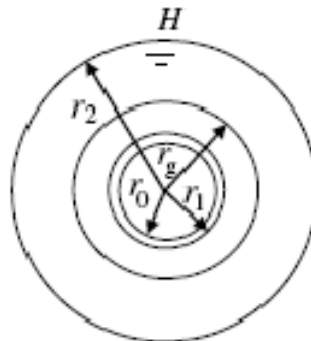
مفروضات این روش:

محیط سنگی اطراف تونل همگن و ایزوتروپ

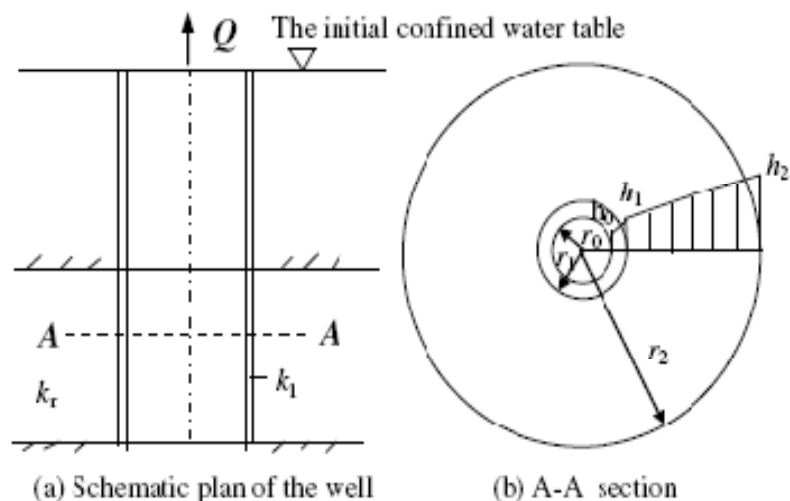
برقراری جریان پایدار به داخل تونل

برقراری قانون داریسی

برای بررسی یک مقطع تونل دایروی با پوشش به شعاع داخلی r_0 و شعاع خارجی r_1 مفروض می‌باشد، در اطراف تونل برای کاهش فشار آب خارجی می‌توان از روش تزریق به شعاع r_g استفاده کرد، دیگر مفروضات در اشکال (۲-۶) و (۲-۷) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل (۲-۶) - مفروضات مدل مورد بررسی در مقطع [8]



شکل (۷-۲) - مفروضات مدل مورد بررسی در پلان [8]

که در این اشکال پارامترهای زیر قابل مشاهده هستند:

r_0 : شعاع داخلی پوشش

r_1 : شعاع خارجی پوشش

r_g : شعاع ناحیه تزریق شده

r_2 : شعاع ناحیه متاثر از زهکشی

k_1 : نفوذپذیری پوشش تونل

k_g : نفوذپذیری ناحیه تزریق شده

k_r : نفوذپذیری توده سنگ اطراف تونل

h_2, h_1, h_g : هد فشار آب در ناحیه تزریق شده و پوشش تونل و ناحیه تزریق

P : فشار آب خارجی وارد بر پوشش تونل

P_g : فشار آب خارجی وارد بر ناحیه تزریق تونل

Q : میزان تخلیه

H : سطح اولیه آب

با توجه به برقراری جریان پایدار شعاعی به داخل تونل و برقراری قانون دارسی تخلیه حاصل از سنگ اطراف تونل Q_1 در

مقطع $A - A$ (شکل ۷-۲) در محدوده $r_1 < r < r_2$ از رابطه (۱۵-۲) محاسبه می‌شود. [9]

$$Q_1 = \frac{2\pi k_r (h_2 - h_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (15-2)$$