هفتمین کنفرانس ملی
مطالعات مدیریت در علوم انسانی
7th National Conference on
Management Studies in the Humanities
www.spconf.ir

بررسی بتن آب بند مورد استفاده در تونل شماره ۴ راه آهن اردبیل – میانه

حسن کاظمی، دانشگاه آزاد واحد سراب H.kazemi38@gmail.com

چکیده

در این پژوهش به بررسی بتن آب بند مورد استفاده در تونل شماره ۴ قطعه ۳ راه آهن اردبیل – میانه پرداخته می شود و از اهداف مهمی که در این پژوهش در تلاش برای رسیدن به آن هستیم تهیه بتنی است که تحت انواع آزمایشهای نفوذ پذیری در دبی های مختلف مقاوم و ناتراوا باشد. نتایج این پژوهش می تواند در بخش تونل سازی و سازه های مهم که نفوذ ناپذیری آب بسیار مهم است تاثیر بسیار مثبتی داشته باشد. این پژوهش به صورت کاربردی و آزمایشگاهی می باشد و نتایج به صورت واقعی و قابل اجرا است.آزمایشات در استان اردبیل، آزمایشات نفوذ پذیری می باشد. که به دو صورت تحت دبی ثابت و دبی متغیر صورت می گیرد.

با توجه به نتایج بدست آمده **در محدوده هایی که دبی آب کم می باشد** در برخی از کیلومتراژ تونل شماره ۴ تراوش آب بسیار کم و در حد نم بوده که ناشی از نفوذ آبهای سطحی حاصل از بارندگی های فصلی می باشد که در این محدوده ها با استفاده از بتن آب بند با استفاده از طرح اختلاط شماره سه و چهار که با همان نسبت سیمان (۳۸۰ کیلوگرم در مترمکعب) با ماسه بسیار ریز و نرم با مدول نرمی کمتر از ۳ با افزودنی های ژل میکروسیلیس و فوق روان کننده و واتر پروف تهیه شده است استفاده شده است. بتن حاصل از ترکیبات فوق بسیار متراکم و تخلخل خیلی کم و با مقاومت فشاری بسیار بالا می باشد که با اجرای صحیح و عدم ایجاد درز سرد مانع نفوذ آب به داخل تونل می گردد.**در محدوده هایی که دبی آب زیاد می باشد** در طول زیادی از تونل شماره ۴ با توجه به میزان تراوش و دبی آب به صورت عملی برای مهار نفوذپذیری آب به دو روش اجرای بتن آب بند و همچنین اجرای پروژه های آب بند شامل دو لایه ژئوتکستایل ، یک لایه ژئودرین و یک لایه ژئوممبران اجرا شده است .

واژه‌های کلیدی

بتن آب بند، افزودنی ها، واترپروف، فیلر ، لایه های عایق

مقدمه :

در قرن حاضر ، پیشرفت تکنولوژی و افزایش دستاوردهای آن از یک سو ، افزایش روز افزون جمعیت و نیاز آنان به تکنولوژی برتر از سوی دیگر ، فضای محیطی وسیعی را می طلبد . جمعیت جهان به شدت در حال افزایش است و فضاهای موجود پاسخگوی نیازهای این جمعیت رو به رشد نیست. از این رو توسعه زیر زمینی شهر ها از اولویت زیادی برخوردار شده است . بطوریکه برنامه ریزی برای توسعه شهرها ، تا حد زیادی معادل احداث تونل ها و فضاهای زیر زمینی جدید و مدرن ارزیابی می شود. بر خورداری از راه های ارتباطی مناسب و کار آمد از جمله فاکتورهایی است که نشانگر توانایی کشورها در زمینه حمل و نقل کالا و مسافر می باشد. از طرفی با توجه به موقعیت های متفاوت موفولوژی زمین و ناهمواری ها و موانع موجود در ایجاد ارتباط ، حفر تونل در دل کوه ها و یا در اعماق دریاها از اهمیت فراوانی برخوردار شده است . تونل ها با ایجاد امکان حمل و نقل سریع و جذاب ، مراکز صنعتی را که نیازمند شاهراه های حمل و نقل برای توجیه اقتصادی فعالیت هایشان هستند ، بدون هیچ اختلال و مشکلی به یکدیگر متصل می کنند.

با توجه به موارد اشاره شده ، امروزه ساخت تونل های راه و راه آهن به عنوان یکی از مهمترین شاخه های صنایع و از فاکتورهای قابل توجه رشد اقتصادی کشورها محسوب می شود.

به طور کلی در ارتباط با زمین شناسی محیط ، طراحی و احداث هر نوع سازه ای در طبیعت باید به گونه ای انجام شود که تعادل متقابل بین سازه و شرایط زمین شناسی به وجود آید.

برای حصول به این هدف ، دو موضوع زیر حایز اهمیت می باشد :

- شناخت کامل تمامی عوامل سازه مورد طراحی و اجرا از جمله عوامل استاتیکی ، دینامیکی ، زیست محیطی ، تاثیرات شیمیایی و ... موثر بر محیط .
- شناخت زمین شناسی محیط از جمله عوامل شکل دهنده آن نظیر زمین ریخت شناسی (مورفولوژی) ، عوامل تکتونیکی ، تاثیرات عوامل جوی و آبشناسی و شاخص های فیزیکی و شیمیایی و تاثیر آن ها بر روی سازه مورد نظر.

مورد اول توسط طراح سازه مشخص می شود که به عنوان داده برای برنامه ریزی مطالعات زمین شناسی مهندسی به کار گرفته می شود و مورد دوم با کوشش مهندس زمین شناس و بر اساس روش های مختلف اکتشافی در مرحله طراحی به دست می آید.

کلیه پارامترهای اساسی ، مشخصه ها و ویژگیهای زمین ساختی ، ژئومکانیکی ، فرآیندهای زمین شناسی و ... با عملیات صحرایی و آزمایشگاهی ، شناسایی و تهیه می شوند. نهایتا اطلاعات مورد نیاز طرح و اجرا با دقت کافی به منظور حصول به اهداف مورد نظر از این طریق تامین می شود. هرچه اطلاعات به دست آمده دقیق تر باشد ، به همان نسبت طراح می تواند با هزینه کمتر و اطمینان بیشتری ، طرح خود را ارائه دهد و اجرا کند.

به طور کلی بررسی های ژئوتکنیکی شامل مطالعات زمین شناسی ، زمین شناسی مهندسی ، مکانیک خاک ، مکانیک سنگ ، ژئوفیزیک کاربردی ، لرزه شناسی ، مهندسی زمین لرزه و مهندسی پی می باشد که در پنج مرحله از زمان تعریف پروژه تا اتمام پروژه ادامه می یابد.

تقریباً تمامی سازه های زیرزمینی با آب زیرزمینی برخورد دارند. در یک سازه دائمی ، گذشته از حل مسئله آب زیر زمینی در اجرا ، یا باید سازه در برابر آن نفوذناپذیر بوده و یا دارای زهکشی کنترل شده باشند. هجوم ناگهانی آب زیر زمینی در هنگام اجرا ، موجب بروز صدمات جدی است و از این نظر تمهیدات استثنایی و ویژه ای را ایجاب می کند. برخورد کیفی و کمی به آب زیر زمینی در مطالعات لازم بوده و ارزیابی آن در اکتشاف ها و حفاری ها ضروری است . تونل ها و شفت ها به عنوان یک مجرا یا چاه عمل می کنند و رژیم طبیعی جریان زیر زمینی را بر هم زده و نهایتاً سبب افت سطح آب یا کاهش فشار حفره ای می شود ، مگر اینکه جدار آن ها نفوذناپذیر باشد.

هنگام عملیات اجرایی ، جریان های ناگهانی زیر زمینی حایز اهمیت هستند . برای سازه تمام شده ، جریان های نفوذی و فشار آب در زمان طولانی مهم می باشد. عوامل مهم در جریان نفوذ به صورت زیر می باشند :

الف – نفوذپذیری توده سنگ آبدار (آبخوان ، درزه های آبدار) که میزان بده را تحت گرادیان ثابت تحت تاثیر قرار می دهد.

ب – فشار آب روی تونل ، تعیین کننده گرادیان جریان است . این فشار ممکن است به مرور زمان کاهش یابد . همچنین فشار آب توده روی سازه اجرا شده می تواند از عوامل تعیین کننده باشد .

پ – حجم مخزن آب که به سمت تونل جریان دارد ، از عوامل تعیین کننده زمان جریان در طول زمان است . شدت جریان غالباً به مرور زمان کاهش می یابد .

ت – در جریان یکنواخت ، تغذیه آب زیر زمینی عامل تعیین کننده جریان ورودی به تونل در طول زمان است.

ث – لایه آبدار ممکن است مولد بده های کاهش یابنده در طول زمان یا لایه حاوی آب با دبی کم باشد. در این حالت ها حجم مخزن محدود خواهد بود.

اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در اثر حفر تونل :

اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از افت سطح آب زیرزمینی در اثر حفر تونل ها که شامل دو پدیده نشست سطح زمین در سطح ایستابی و خشک شدن یا کم آب شدن چشمه ها و قنات های پایین دست محدوده حفر در اثر خروج آب از تونل حین حفر می باشد .

نشت زمین در سطح ایستابی :

از جمله مشکلات موجود در حفر تونل های واقع در زیر سطح ایستابی می توان به کاهش ضریب پایداری ساختار توده سنگ و فت سطح ایستابی در لایه های روباره تونل اشاره کرد که باعث نشست تحکیمی می شود. با پایین آمدن تراز آب زیرزمینی ، نشستی در سطح زمین و بسته به نوع خاک و سنگ به صورت آنی یا تدریجی رخ می دهد.

محیط زمین در ابتدا تحت تنش ناشی از تنش های طبیعی زمین است که بر اثر حفر تونل یا سایر سازه های زیرزمینی ، وضعیت تنش و توزیع آن در زمین تغییر می کند. این امر موجب انقباض دهاه تونل و تغییر شکل هایی در مقطع زمین و در نهایت ، منجر به نشست سطح زمین می شود. مسأله نشست سطحی زمین ناشی از حفر تونل با توجه به اهمیتی که دارد ، همواره از سوی پژوهشگران مورد بررسی قرار گرفته است تا با اتخاذ شیوه های مناسب میزان آن را قبل از شروع عملیات ساخت برآورد کنند.

در حالت کلی ، روش های محاسبع نشست به سه گروه اصلی تقسیم می شوند که عبارتند از : روش های تجربی ، تحلیلی و عددی . در روش تجربی برای حالت های مختلف شکل و ابعاد فضای حفر شده ، نمودار و جدول هایی تهیه شده است که بر اساس آن نشست سطح زمین را پیش بینی می کنند. از جمله مهم ترین روش های تحلیلی برآورد نشست زمین نیز می توان به روش NCB اشاره کرد. روش های بابت ، اتئو و مویا ، گونزالز و ساگاستا ، لوگاناتان و پولوس ، پارک ، ورویجت و بوکر و ملیس نیز از دیگر روش های تحلیلی محاسبه نشت محسوب می شوند . از سوی دیگر ، روش های پیش بینی نسیت به سه دسته ، روش های تجربی ، تابع تاثیر و تابع پروفیل تقسیم شده اند. روش های تابع تاثیر و تابع پروفیل جزو روش های ریاضیاتی محسوب می شوند که در آن ها با به کارگیری توابع مختلف (توابع نمایی و تانژانت هایپربولیک) ، مقدار نشست محاسبه می شود.

مقدار عمده نشست سطح زمین در حفر تونل ها در اثر سست شدن توده خاک و در برخورد با لایه آبدار پدید می آید که با پایین انداختن تراز آب زیرزمینی این مقدار افزایش می یابد. محاسبه نشست زمین به این دلیل حائز اهمیت است که علاوه بر خسارات وارده بر سازه های واقع در سطح زمین ، ممکن است باعث ایجاد خسارات برای بخش های زیر زمینی نیز شود و در نظر نگرفتن این پدیده در محاسبات و طراحی ، می تواند خطاها و خطرات غیرقابل قبولی را در بر داشته باشد.

چنانچه در طول عملیات حفر تونل به لایه آبدار برخورد شود ، در این صورت باید تراز آب در آن منطقه به صورت موقتی یا دائمی و با احداث سبکه زهکش پایین انداخته شود. اگر تراز آب به صورت دائمی پایین انداخته شود ، نشست زمین به دلیل کاهش یافتن فشار آب حفره ای تبدیل شدن تمام تنش به تنش موثر و اگر به صورت موضعی این عمل صورت پذیرد ، مشکلاتی همچون عمل کردن خود تونل

به عنوان زهکش و یا شکل گیری و آرایش مجدد دانه های رس لایه (در لایه های رسی) بر اثر بالا آمدن دوباره تراز آب زیرزمینی به وجود آید که خود این عوامل باعث نشست زمین می شود. در نهایت ، یک قسمت یا تمام این نشست ها به سطح زمین منتقل شده و مشکلاتی را برای سازه های واقع در سطح زمین به وجود می آورد. در مبحث تحکیم خاک می توان به نشست و یا جابه جایی تدریجی خاک در اثر حذف تدریجی فشارهای منفذی اشاره کرد . به طوریکه تغییر فشار منفذی سبب تغییر فشار موثر می شود که به تبع آن پاسخ خاک را تغییر می دهد . این پدیده به همراه افت فشارهای منفذی باعث نشست در سطح ایستابی می شود که خود باعث تغییر در جریان آب زیر زمینی در منطقه می شود.

خشک شدن یا کم آب شدن پایین دست محدوده حفر تونل

به منظور کنترل آب ورودی به خارج از تونل می توان از پوشش های ناتراوا موسوم به ژئوسنتیک ها (ژئوممبران ها و ژئوکمپوزیت ها) بهره برده و این فرآورده های پلیمری را به همراه کانال هایی در پایین دوطرف دیواره تونل در پشت پوشش نهایی استفاده کرد . ژئوممبران ها و ژئوکمپوزیت ها صفحات یکپارچه ساخته شده از پلیمر هستند . این فرآورده های ورقه ای ، به طور نسبی نفوذناپذیر ومصنوعی می باشند که از مصالحی با نفوذ پذیری پایین ساخته شده اند تا به صورت یک حایل ، روکش یا آستر از عبور آب جلوگیری نمایند.

ضریب نفوذپذیری بسیار اندک این غشاها باعث می شود این فرآورده جایگزین آسترهای قدیمی متخلخل و نفوذپذیر شود. ورقه های ژئوممبران در مقابل قارچ ها و کپک ها کاملا مقاوم بوده و اشعه ماورای بنفش و سایر عوامل محیطی هیچگونه تاثیر منفی کیفی بر آنان ندارد.

ورقه های ژئوممبران پلی اتیلنی که با روش های دوبار تزریق ساخته می شوند ، ورقه های یکپارچه انعطاف پذیر و نرمی هستند که ضمن آب بند کردن محیط اطراف تونل ، به دلیل مقاومت بالا در برابر عوامل سوراخ کننده (مانند حمله جوندگان و ریززیستواره ها) پایدار می مانند. قابلیت مذکور در ژئوممبران ها باعث شده است تا این فرآورده به عنوان گزینه ای مناسب در پوشش تونل ها به کاربرده شود و با کاهش هزینه های نگهداری و افزایش عمر مفید سبب دستیابی به محیط خشک شود.

این پوشش ها با توجه به خصوصیات منحصر به فردی که دارند، موجب هدایت جریان آب به سمت کانال های تعبیه شده در پایین تونل شده و از تجمع آب در پشت پوشش جلوگیری می کنند. در صورت استفاده از چنین پوشش هایی به همراه کانال های زهکشی به منظور خروج آب جمع شده و در پشت پوشش نهایی تونل ، جهت جریان آب زیرزمینی در منطقه تغییر کرده و به دنبال آن باعث خشک و یا کم آب شدن قنات ها و چشمه های پایین دست می شود.

محاسبه نرخ نقوذ آب به داخل تونل در حال حفر :

یکی از مهم ترین مسائل و مشکلات پیش رو در عملیات تونل زنی در مقاطع سنگی ، جریان یافتن آب به درون محیط تونل در حال حفر است که از طریق ناپیوستگی های اولیه و ایجاد شده در دیواره تونل صورت می پذیرد. جریان آب و هجوم آن به محیط تونل حین حفر ، آثار مخربی بر روند عملیات حفر داشته و می تواند فعالیت تونل سازی را کاملاً تحت تاثیر قرار دهد. این مسأله بعضاً به توقف عملیات نیز منجر می شود. از جمله مهم ترین مشکلاتی که به علت نشت آب به درون محیط تونل گریبانگیر عملیات می شود ، می توان به مواردی همچون کاهش پایداری توده سنگ اطراف تونل ، اعمال فشار مازاد بر سامانه نگهداری موقت و دائم ، تاثیرات تخریبی بر وضعیت ژئومکانیکی سنگ و متعاقباً ایجاد خطرات جانی و مالی اشاره کرد/ مسأله نشت و کنترل جریان آب زیر زمینی ، از مشکلات اساسی حفر تونل های عمیق است که باید از قبل پیش بینی شده و به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

راه های کاهش اثرات نامطلوب زیست محیطی :

به طور کلی ، برای کنترل آب زیرزمینی دو روش آبکشی و جلوگیری از ورود آب به درون تونل وجود دارد . روش های آبکشی اغلب به فنون جمع آوری و انتقال آب بر میگردد که روش های قدیمی تر و معمول تری در کنترل آب زیر زمینی هستند . در این روش ها اجازه ورود آب به تونل زیرزمینی داده می شود و سپس آب را از تونل خارج می کنند. به همین دلیل به این روش ها ، روش های داخلی نیز گفته می شود. پمپاژ چاه ها ، بالا بردن نقاط چاهی و استفاده از مکنده های ونتوری از مرسوم ترین روش های آبکشی هستند . در روش دیگر کنترل آب زیر زمینی ، از ورود آب به درون تونل ممانعت می شود. از این رو این روش ها را خارجی می نامند. روش های خارجی شامل موارد تزریقی سیمانی و شیمایی و نیز انجماد زمین است . بازیابی مجدد سطح آب زیر زمینی می تواند یکی از راه های کاهش اثرات نامطلوب زیست محیطی در ساختگاه تونل باشد. به طوری گه با استفاده از یک پوشش آب بند زهکش می توان از افزایش نشست در سطح ایستابی در درازمدت و تغییر در روند جریان آب زیر زمینی در منطقه جلوگیری کرد.

بازیابی مجدد سطح آب زیر زمینی با استفاده از پوشش آب بند بدون زهکشی:

استفاده از پوشش های آب بند بدون زهکشی به منظور کاهش اثرات مخرب زیست محیطی ، مستلزم به کارگیری سامانه نگهداری با خصوصیات بالای مقاومتی می باشد. زیرا در پی بازیابی مجدد سطح آب زیر زمینی ، آب در پشت پوشش نهایی جمع شده و در درازمدت باعث اعمال فشار هیدرواستاتیکی قابل توجهی به پوشش می شود. به طوری که پس از حفر تونل تا قبل از نصب پوشش نهایی ، سطح آب زیر زمینی به علت نشت از دیواره ها تا ابتدای قوس فوقانی تونل افت می کند. ولی در ادامه ، بعد از نصب پوشش نهایی ، به علت آب بند بودن پوشش مجدداً سطح آب با گذشت زمان تا مقدار اولیه بالا می رود و در پشت پوشش جمع می شود. این امر علاوه بر بازیابی مجدد سطح ایستابی باعث اعمال فشار قابل توجه به پوشش نهایی خواهد شد.

استفاده از روش لوله رانی (فورپولینگ)

برای حفاری یک تونل در شرایط بد زمین ، پایدار نگه داشتن جبهه کار تونل و جلوگیری از نشت آب به داخل تونل از پیرامون مقطع آن ، امری بسیار ضروری است . امروزه فورپولینگ که به یکی از روش های پرکاربرد در نگهداری حفریات بزرگ مقیاس تبدیل شده است ، در خاک های سست ، ضعیف و متخلخل و همچنین در مواردی که نشست سطح زمین مجاز نباشد ، کاربرد دارد . در این روش ، یک پوسته قوس مانند چتری بالای جبهه کار و اطراف مقطع تونل قبل از حفر ایجاد می شود تا عملیات به طور ایمن و سریع انجام شود. روش های مختلف شامل تزریق فشار ، لوله رانی در سقف و مهارگذاری در جبهه کار می باشند.

فورپولینگ ها ، لوله هایی هستند که در داخل چال هایی که جلوتر از سینه کار حفاری شده اند ، قرار گرفته و از داخل آن ها تزریق دوغاب صورت می گیرد. این روش در تونل سازی ، یکی از شیوه های بسیار موثر افزایش خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ ها و جلوگیری از نشست زمین در سازه های زیرزمینی و نیز پیشگیری از نفوذ جریان های آب زیرزمینی به داخل تونل می باشد.

بتن ناتراوا :

بتن ناتراوا فقط یک بتن ساده و یا با کیفیت نیست! حتی با کیفیت ترین بتن شامل شبکه ای از خلل و فرج و مویرگ ها است. بتن ناتراوا به بتنی گفته میشود که موجب حاصل شدن مجموعه ای از درجه حفاظت و آب بند بودن بتن شود که مورد نیاز اطمینان صاحبان و یا پیمان کاران باشد. بتن ناتراوا یا **بتن آب بند** در مواردی که سازه در مجاورت دائم یا غیر دائم با آب و مواد شیمیایی است کارایی دارد. به بتن ناتروا یا بتن آب بند ,بتن غیر قابل نفوذ و یا آب کیپ نیز گفته می شود بتن ناتراوا بتنی است که تهویه مناسب و دمای کافی برای

ادامه تبخیر آب نفوذ یافته در سطح بیرونی در سازه های مخزنی و سطح دور از آب در سازه های آبی وجود داشته باشد و قطرات تعریق بر روی سطح دور از آب در محل موجود نباشد.[۵۵]

بتن ناتراوا عبارت است از مقاومت بتن در برابر هرگونه عامل خارجی که به سطح بتن حمله می کند و ممکن است به داخل بالا یا پایین و ... بتن آب بند نفوذ کند. مانند آب ، هوا ، گازهای خارجی اعم از خورنده و غیر خورنده ، مواد شیمیایی. این بتن عاری از ترک خوردگی های سطحی ، لوله های مویینه در داخل به میزان کم یا صفر و دارای خلل و فرج ناچیزی می باشد که نفوذ هرگونه عامل خارجی به بتن را به حداقل رسانده و یا ناممکن ساخته و به اصطلاح بتن ناتراوا می شود.[۵۶]

بررسی نسبت آب به سیمان در بتن های ناتراوا :

میزان آب به سیمان مورد استفاده در بتن را می توان به دو قسمت اساسی تقسیم بندی نمود که عبارتند از آب مورد نیاز جهت انجام واکنش های هیدراتاسیون و آب مورد نیاز جهت ایجاد روانی لازم برای بتن ، میزان آب مورد نیاز برای واکنش هیدراتاسیون سیمان حدود ۲۸ تا ۳۰ درصد وزن سیمان می باشد و مازاد آب مصرفی در بتن جهت تامین روانی مورد نیاز و با توجه به نوع سنگدانه ها و شرایط محیطی و آب و هوایی و سایر ضوابط آئین نامه ای تعیین می شود. البته می توان با کاهش آب مورد استفاده ، روانی بتن را با استفاده از مواد روان کننده استاندارد تامین نمود.[۵۷]

کاهش میزان آب اختلاط یا به عبارت بهتر کاهش نسبت آب به سیمان می تواند باعث کاهش تخلخل بتن شود اما کاهش بیش از حد آب مورد استفاده در بتن می تواند باعث ایجاد مشکلات دیگری برای بتن تازه و بتن سخت شده گردد.

بحثی که در مورد بتن مطرح است اختلاط بتن است ، اما جنبه دیگری از ساخت که تاکنون بسیار مورد توجه بوده و در ساخت بتن بسیار مهم است و به آن به خوبی پرداخته می شود ، بحث یا نسبت اختلاط بتن است که با طراحی و کنترل آن می توان میزان خلل و فرج های ایجاد شده در بتن را به فراخور استفاده کمتر یا بیشتر کرد و باعث کمتر مصرف شدن سیمان شد. خلل و فرج موجود در بتن مهمترین عامل تضعیف آب بند بودن بتن می باشد و باید به دقت از داخل بتن خارج شده با موادی که به سلامت ، مقاومت و پایایی بتن صدمه نزنند جایگزین شود.[۵۸]

همچنین بررسی ها نشان داده است که میزان آب جذب شده ارتباط چندانی با مقدار سیمان در طرح اختلاط ندارد ولی دقت در ترکیب مصالح سنگی برای ایجاد یک منحنی دانه بندی پیوسته می تواند باعث کاهش نفوذ پذیری و تراوایی شود.[۵۹]

درجه آب بندی در بتن ناتراوا

درجه اول - سطح پرداختی بتن ناتراوا کاملاً آب کیپ و یا آب بند بوده و اثری از رطوبت برروی سطح خارجی دیده نمیشود و کاملاً سطح بتن ناتراوا خشک است.

درجه دوم سطح پرداختی بتن ناتراوا به اندازه کافی آب نبند است در حالی که فقط در اثر کمی رطوبت لکه های تغییر رنگ داده در نقاط مختلف سطح خارجی بتن ناتراوا دیده میشود ولی سطح عمدتاً خشک می باشد.

درجه سوم در این سطح از آب بند بودن بتن ناتراوا میتوان بوسیله کف دست رطوبت در نقاط مختلف روی سطح بتن احساس کرد ولی قطره آب روی سطح بتن ناتراوا مشاهده نمی شود. فقط خلل وفرج بتن ناتراوا مرطوب می باشند.[۶۱]

برای ساخت بتن ناتراوا می توان به دو صورت اقدام کرد:

روش اول آب بند ساختن بتن ناتراواکه در زمان ساخت بتن و بتن ریزی انجام میگیرد با استفاده از مواد افزودنی بتن استفاده از واتر استاپ در درزهای اجرایی یا انبساطی و رعایت نکات مهم اجرایی انجام می گردد مواد افزودنی مناسب.

روش دوم آب بند نمودن ساختار جسم بتن ناتراوا اصلاح ساختار بتن جهت آب بندی شامل تراکم ، توسعه دوام بتن و ایجاد مقداری حباب هوا می باشد.[۶۲]

آب بندی ساختمان های تراز منفی یا تونل ها و گود ها ، در حین و احداث:

بهترین و اطمینان بخش ترین روش حفاظت و آب بند نمودن بتن و ساختمان ، به کارگیری تدابیر در زمان ساخت می باشد.
در حال حاضر به طور کلی سه روش ذیل برای تحقق آب بند سازی در حین ساخت وجود دارد که در تونل شماره ۴ هرسه روش اجرا شده است :

۱- طراحی و اجرای سیستم زهکشی

۲- استفاده از سیستم های ژئوسنتتیک (ژئوممبرین و ژئوتکستایل یا GCL)

۳- اجرای بتن آب بند و نفوذناپذیر ، در کنار تمهیدات اجرایی

شکل ۱ . اجرای کانال زهکش کف تونل به همراه لوله های مشبک و فیلتر

شکل ۲ . اجرای پرده آب بند (ژئوممبران) از جنس pvc

شکل ۳ . اجرای سیستم عایق بندی جداره تونل (ژئوتکستایل)

معرفی پروژه مورد مطالعه :

در این پژوهش به بررسی بتن آب بند مورد استفاده در تونل شماره ۴ راه آهن اردبیل – میانه پرداخته می شود و از اهداف مهمی که در این پژوهش در تلاش برای رسیدن به آن هستیم تهیه بتنی که تحت انواع آزمایشهای نفوذ پذیری در دبی های مختلف مقاوم و ناتراوا می باشد. این پژوهش به صورت کاربردی و آزمایشگاهی می باشد و نتایج به صورت واقعی و قابل اجرا است.

آزمایشات در استان آزمایشات نفوذ پذیری می باشد. که به دو صورت تحت دبی ثابت و دبی متغیر صورت می گیرد.

مسیر راه آهن میانه- اردبیل به طول ۱۷۵ کیلومتر شامل ۱۲ قطعه اجرائی ؛ از ایستگاه زاویه در شهرستان میانه واقع در استان آذربایجان شرقی آغاز و تدریجا وارد منطقه کوهستانی می گردد.سپس با رعایت حریم دریاچه سد از حاشیه محل سد شهریار عبور کرده و در موازات رودخانه و دره قزل اوزن به سمت شهرستان اردبیل تغییر جهت داده و به موازات رودخانه سنگواره چای از مناطق کوهستانی وارد مناطق تپه ماهور شده و پس از طی مسیر به موازات جاده اردبیل- کورائیم وارد شهر اردبیل می گردد.

عملیات راه آهن اردبیل از سال ۱۳۸۴ آغاز و پیشرفت فیزیکی زیرسازی کل محور تاکنون حدود ۶۶,۳۴ درصد می باشد.این طرح شامل دو پروژه میانه- فیروزآباد و فیروزآباد-اردبیل است که میانه – فیروزآباد به طول ۷۹ کیلومتر با شامل ۸ قطعه و پروژه فیروزآباد – اردبیل به طول ۹۶ کیلومتر شامل ۴ قطعه می باشد.

پیشرفت کل محور با لحاظ عملیات روسازی(شامل بالاست,ریل گذاری,علائم و ارتباطات) و ساختمان ایستگاه ها تا نیمه دوم سال ۹۶ در حدود ۴۳,۳ بوده است. (واحدکنترل پروژه قطعه ۳/الف شرکت جهادنصرحمزه)

تحلیل و بررسی مطالعه موردی

نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده :

این آزمایشات تحت عناوین زیر مورد بررسی قرار می گیرند :

روانی بتن – سن نمونه به روز – ابعاد نمونه – سطح بارگذاری – حجم نمونه – وزن نمونه – دانسیته نمونه – حداکثر نیروی وارده – نیروی تصحیح شده – مقاومت فشاری نمونه

۱- بتن لاینینگ رامکا جناح راست تونل شماره ۴ کیلومتر ۸۵۲ ~ ۸۴۱ + ۳۲۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۲- بتن لاینینگ طلاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۸۳۶,۰۰۰ ~ ۸۳۰,۰۰ +۳۲۸

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۳- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۸۳۶,۰۰۰ ~ ۸۳۰,۰۰۰ + ۳۲۸ (محل نمونه برداری با شماره ۲ یکی است اما نمونه ها و سطح بارگذاری و ... با شماره ۲ متفاوت است)

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۴- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۸۴۷,۰۰ ~ ۸۴۱,۰۰ + ۳۲۸

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۵- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۸۳۶,۰۰۰ ~ ۸۴۱,۰۰ +۳۲۸

روش آزمایش BS EN 12390-3

۶- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۸۴۷,۰۰ ~ ۸۵۳,۰۰ + ۳۲۸

ر.ش آزمایش : BS EN 12390-3

۷- بتن لاینینگ رامکا جناح چپ تونل شماره ۴ کیلومتر ۳۲۸+۰۶۳,۰۰ ~ ۳۲۸ + ۰۷۵,۰۰

روش آزماش : BS EN 12390-3

۸- بتن لاینینگ رامکا جناح چپ تونل شماره ۴ کیلومتر ۰۶۳,۰۰ + ۳۲۸ ~ ۳۲۸ + ۰۵۲,۰۰

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۹- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۹۳۴,۰۰ ~ ۹۳۰,۰۰ + ۳۲۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۱۰- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۹۳۶,۰۰ ~ ۹۳۰,۰۰ + ۳۲۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۱۱- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۹۳۴,۰۰ ~ ۹۱۸,۰۰ +۳۲۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۱۲- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۹۳۵,۰۰ ~ ۹۴۱,۸۰ +۳۲۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۱۳- بتن لاینینگ طاق تونل شماره کیلومتر ۹۳۶,۰۰ ~ ۹۳۰,۰۰ + ۳۲۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۱۴- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۹۴۷,۱۵ ~ ۹۴۱,۸۰ +۳۲۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۱۵- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۹۵۹,۰۰ ~ ۹۶۵,۰۰ +۳۲۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۱۶- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۹۴۷,۰۰ ~ ۹۴۱,۰۰ +۳۲۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۱۷- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۸۴۷,۰۰ ~ ۸۴۱,۰۰ +۳۳۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

۱۸- بتن لاینینگ طاق تونل شماره ۴ کیلومتر ۹۵۹,۰۰ ~ ۹۶۵,۰۰ + ۳۳۷

روش آزمایش : BS EN 12390-3

بررسی طرح اختلاط های کارگاهی

جدول ۱ . طرح اختلاط شماره ۱:

شماره طرح اختلاط	میزان سیمان kg	میزان شن kg	میزان ماسه kg	میزان آب li	افزودنی ها	مقاومت متوسط بتن kg/cm2
۱	۳۸۰	۹۰۰	۹۴۰	۱۸۰	S520	۳۶۵

در طرح اختلاط شماره یک از بتن معمولی با ترکیب ۴۵۰ کیلوگرم شن درشت و ۴۵۰ کیلوگرم شن ریز و ۹۴۰ کیلوگرم ماسه معمولی با ۳۸۰ کیلوگرم سیمان تیپ دو اردبیل به همراه ۱۸۰ لیتر آب برای هر مترمکعب استفاده کردیم که با توجه به اینکه بتن لاینینگ بتن پمپ شونده است برای کارایی بیشتر از فوق روان کننده s520 شرکت سراپوش بتن به میزان یک درصد وزن سیمان به مخلوط بتن اضافه شده است .

جدول ۲ . طرح اختلاط شماره ۲:

شماره طرح اختلاط	میزان سیمان kg	میزان شن kg	میزان ماسه kg	میزان آب li	افزودنی ها	مقاومت متوسط بتن kg/cm2
۲	۳۸۰	۹۰۰	۹۴۰	۱۸۰	S620	۴۳۰

در طرح اختلاط شماره ۲ از بتن آب بند با ترکیب ۴۵۰ کیلوگرم شن درشت و ۴۵۰ کیلوگرم شن ریز و ۹۴۰ کیلوگرم ماسه معمولی با ۳۸۰ کیلوگرم سیمان تیپ دو اردبیل به همراه ۱۸۰ لیتر آب برای هر مترمکعب استفاده کردیم که با توجه به اینکه بتن لاینینگ بتن پمپ شونده است برای کارایی بیشتر و آب بند نمودن آن از افزودنی فوق روان کننده به همراه واتر پروف s620 شرکت سراپوش بتن به میزان یک درصد وزن سیمان به مخلوط بتن اضافه شده است .

جدول ۳ . طرح اختلاط شماره ۳:

شماره طرح اختلاط	میزان سیمان kg	میزان شن kg	میزان ماسه kg	میزان آب li	افزودنی ها	مقاومت متوسط بتن kg/cm2
۳	۳۸۰	۹۰۰	۹۴۰	۱۸۰	S620 + ماسه ریز (فیلرماسه)	۴۷۶

در طرح اختلاط شماره ۳ از بتن آب بند با ترکیب ۴۵۰ کیلوگرم شن درشت و ۴۵۰ کیلوگرم شن ریز و ۹۴۰ کیلوگرم ماسه با دانه بندی ۰-۵ به همراه فیلر حاصل از ماسه ساز با ۳۸۰ کیلوگرم سیمان تیپ دو اردبیل به همراه ۱۸۰ لیتر آب برای هر مترمکعب استفاده کردیم که با توجه به اینکه بتن لاینینگ بتن پمپ شونده است برای کارایی بیشتر و آب بند نمودن آن از افزودنی فوق روان کننده به همراه واتر پروف s620 شرکت سراپوش بتن به میزان یک درصد وزن سیمان به مخلوط بتن اضافه شده است .

جدول ۴ . طرح اختلاط شماره ۴:

شماره طرح اختلاط	میزان سیمان kg	میزان شن kg	میزان ماسه kg	میزان آب li	افزودنی ها	مقاومت متوسط بتن kg/cm2
۴	۳۸۰	۹۰۰	۹۴۰	۱۸۰	S620 + ماسه ریز (فیلرماسه) + ژل میکروسیلیس	۵۱۴

در طرح اختلاط شماره ۴ از بتن آب بند با ترکیب ۴۵۰ کیلوگرم شن درشت و ۴۵۰ کیلوگرم شن ریز و ۹۴۰ کیلوگرم ماسه با دانه بندی ۰-۵ به همراه فیلر حاصل از ماسه ساز با ۳۸۰ کیلوگرم سیمان تیپ دو اردبیل به همراه ۱۸۰ لیتر آب برای هر مترمکعب استفاده کردیم که با توجه به اینکه بتن لاینینگ بتن پمپ شونده است برای کارایی بیشتر و آب بند نمودن آن از افزودنی فوق روان کننده به همراه واتر پروف s620 شرکت سراپوش بتن به میزان یک درصد وزن سیمان و افزودن ژل میکروسیلیس به مقدار یک کیلوگرم به ازای هرمترمکعب که به مخلوط بتن اضافه شده است .

نفوذپذیری و جذب آب

آزمایش های نفوذپذیری بتن دربرابر آب ازگذشته دور براساس رابطه دارسی(Darcy–Weisbachequation) انجام می شده است. ارتش آمریکا و اداره احیای اراضی آمریکا (USBR) آزمایش هایی را برای تعیین ضریب نفوذپذیری بتن در برابر آب ارائه کرده اند که بسیار مشکل است. در روش ارتش آمریکا (CRD-C48) فشار حدود ۱۴ اتمسفر و در روش USBR4913 فشار ۲۸,۵ اتمسفر بکار می رود. در این آزمایش ها مقدار k با بعد L/T بدست می آید. در هر پروژه مقدار حداکثر k مشخص می شود و لازم است بتن مورد نظر این خواسته را برآورد کند.

از آنجا که آزمایش های نفوذپذیری در برابر آب همراه با چالش های فراوانی همراه است، در برخی کشورهای اروپایی مانند آلمان آزمایش دیگری انجام می شد که تحت فشار آب، در زمان معینی، عمق آب نفوذی در بتن بدست می آمد (DIN 1048-5). سپس در BS EN 12390-8 با تغییرات مختصر، این آزمایش با سهولت بیشتر ارائه شد که در آن نمونه حداقل ۲۸ روزه بتنی که می بایست به اشکال مکعب، استوانه و یا منشوری باشد (ابعاد سطح مقطع نباید کمتر از ۱۵۰mm و دیگر ابعاد نباید کمتر از ۱۰۰mm باشند) و تحت فشار

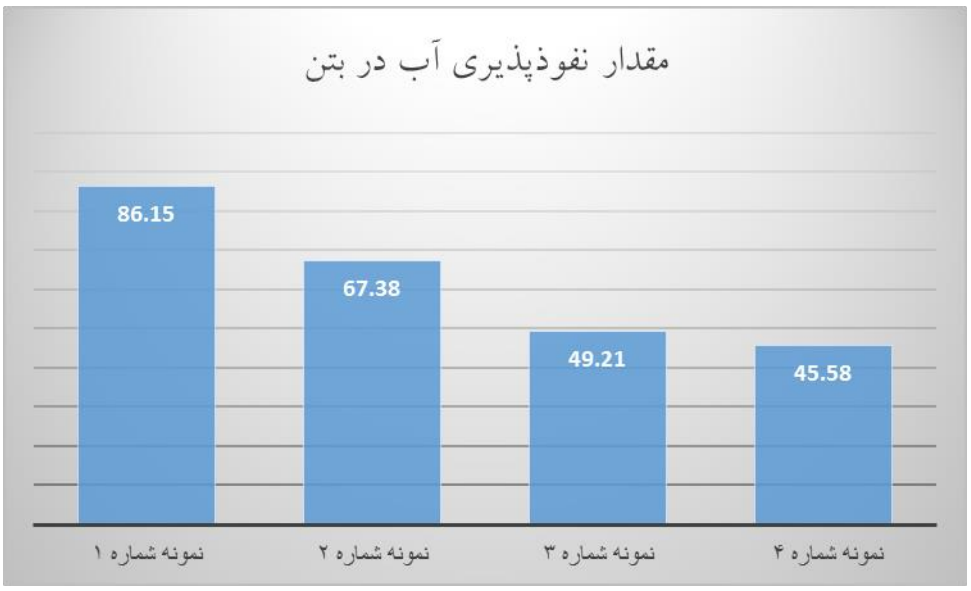
۵۰۰±۵۰ کیلو پاسکال به مدت ۷۲±۲ ساعت قرار می گیرد (فشار نباید فقط به سطح ماله کشیده شده نمونه وارد شود و نمونه می بایست در محفظه مخصوص قرار گیرد) و سپس حداکثر عمق نفوذ آب بدست می آید که پارامتری در جهت ارزیابی نفوذ آب در بتن می باشد. در منابع مختلف طبقه بندی بتن ها در آزمایش DIN 1048 آمده است، اما هنوز این طبقه بندی برای آزمایش براساس روش EN ارائه نشده است.

نتایج بدست آمده از آزمایشات انجام شده در خصوص نفوذپذیری بتن

پس از اینکه برای هر طرح اختلاط نمونه های مکعبی ۱۵*۱۵ تهیه گردید پس از تعیین مقاومت فشاری نمونه ها ۴ نمونه از هرکدام جهت انجام آزمون سیلندری تهیه و تحت دبی ثابت مورد آزمایش نفوذپذیری قرارگرفتند ، میانگین میزان نفوذپذیری آن ها برحست (mm/s) محاسبه شدند که در جدول و نمودار زیر نمایش داده شده است.

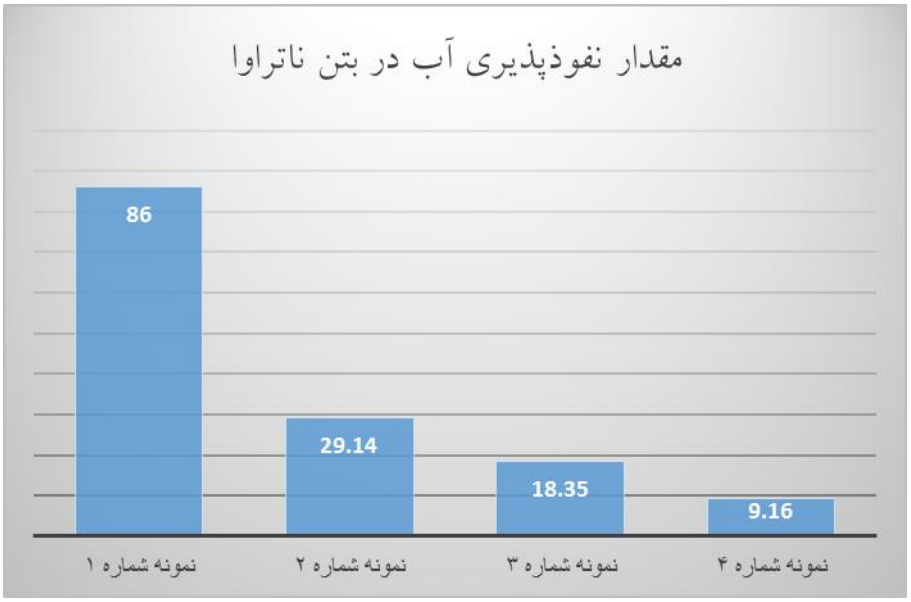
جدول ۵ . نتایج آزمایشات نفوذپذیری در بتن معمولی بدون افزودنی (mm/s)

عنوان	مقدار نفوذپذیری
نمونه شماره ۱	۸۶,۱۵
نمونه شماره ۲	۶۷,۳۸
نمونه شماره ۳	۴۹,۲۱
نمونه شماره ۴	۴۵,۵۸



جدول ۶ . نتایج آزمایشات نفوذپذیری در بتن با افزودنی ها (ناتراوا)(mm/s)

	مقدار نفوذپذیری
نمونه شماره ۱	۸۶
نمونه شماره ۲	۲۹,۱۴
نمونه شماره ۳	۱۸,۳۵
نمونه شماره ۴	۹,۱۶



نتیجه گیری :

نتایج به دست آمده از بررسی های انجام شده طی مطالعات ، آزمایشات و مدل سازی های صورت گرفته به شرح ذیل می باشد :

۱- تونل ها و شفت ها به عنوان یک مجرا یا چاه عمل می کنند و رژیم طبیعی جریان زیر زمینی را بر هم زده و نهایتاً سبب افت سطح آب یا کاهش فشار حفره ای می شود ، مگر اینکه جدار آن ها نفوذناپذیر باشد.

۲- نفوذپذیری توده سنگ آبدار (آبخوان ، درزه های آبدار) که میزان بده را تحت گرادیان ثابت تحت تاثیر قرار می دهد.

۱- فشار آب روی تونل ، تعیین کننده گرادیان جریان است . این فشار ممکن است به مرور زمان کاهش یابد . همچنین فشار آب توده روی سازه اجرا شده می تواند از عوامل تعیین کننده باشد.

۲- حجم مخزن آب که به سمت تونل جریان دارد ، از عوامل تعیین کننده زمان جریان در طول زمان است . شدت جریان غالباً به مرور زمان کاهش می یابد.

۳- در جریان یکنواخت ، تغذیه آب زیر زمینی عامل تعیین کننده جریان ورودی به تونل در طول زمان است.

۴- لایه آبدار ممکن است مولد بده های کاهش یابنده در طول زمان یا لایه حاوی آب با دبی کم باشد. در این حالت ها حجم مخزن محدود خواهد بود.

۵- از جمله مهم ترین مشکلاتی که به علت نشت آب به درون محیط تونل گریبانگیر عملیات می شود ، می توان به مواردی همچون کاهش پایداری توده سنگ اطراف تونل ، اعمال فشار مازاد بر سامانه نگهداری موقت و دائم ، تاثیرات تخریبی بر وضعیت ژئومکانیکی سنگ و متعاقباً ایجاد خطرات جانی و مالی اشاره کرد/ مسأله نشت و کنترل جریان آب زیر زمینی ، از مشکلات اساسی حفر تونل های عمیق است که باید از قبل پیش بینی شده و به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

۶- استفاده از پوشش های آب بند بدون زهکشی به منظور کاهش اثرات مخرب زیست محیطی ، مستلزم به کارگیری سامانه نگهداری با خصوصیات بالای مقاومتی می باشد. زیرا در پی بازیابی مجدد سطح آب زیر زمینی ، آب در پشت پوشش نهایی جمع شده و در درازمدت باعث اعمال فشار هیدرواستاتیکی قابل توجهی به پوشش می شود .

۷- میزان نشست بعد از اتمام عملیات حفاری و پوشش نهایی تونل ، ۱,۵۳۷ سانتی متر برآورد شده است.

۸- با توجه به بررسی های انجام شده ، میزان دبی آب ورودی برای مقطع برابر ۱,۶۷۶ مترمربع در واحد طول تونل برآورد شده است . بنابراین در چنین شرایطی مدیریت و کنترل آب خروجی امری ضروری است.

۹- با توجه به میزان تراوش و دبی آب در تونل شماره ۴ به صورت عملی برای مهار نفوذپذیری آب به دو روش بتن آب بند و همچنین اجرای پروژه های آب بند شامل دو لایه ژئوتکستایل ، یک لایه ژئودرین و یک لایه ژئوممبران اجرا شده است .
به گونه ای که در مقاطعی که حداقل تراوش بصورت نمناکی و مقطعی بوده از بتن آب بند و در مقاطعی که دبی آب زیاد بوده با استفاده از پروژه های آب بند عمل کرده ایم که در هر دو روش آب به پشت دیواره درپایین ترین تراز هدایت شده است و در آن ها با تعبیه لوله های زهکش (بارباکان) به آب اجازه تخلیه و کاهش فشارهیدرولیکی داده شده است.

۱۰- جهت جلوگیری از تجمع و انباشت آب در پشت سازه می بایست کلیه فضاهای خالی و اضافه حفاری ها با مصالح پرکننده منجمله بتن سبک پر شده تا اجازه آب انبار شدن و بالا رفتن تراز آب و نفوذ از بدنه بتن داده نشود.

۱۱- یکی از اساسی ترین بحث ها در تهیه بتن آب بند انتخاب مصالح می باشد که با توجه به محدودیت های موجود در نشریه های فنی و سخت گیری ها در خصوص هم ارزی ماسه ای باعث شستشوی زیاد ماسه و از بین رفتن فیلر و در نتیجه تهیه ماسه ای زبر می باشد و پیمانکاران پروژه ها جهت افزایش مقاومت بتن و جلوگیری از بتن های تخریبی تمایل زیاد به مصرف مصالح شکسته دارند که نتیجه آن تولید بتن متخلخل با دانه بندی میان تهی و کاملا نفوذ پذیر می باشد.

۱۲- با توجه به اینکه کلیه بتن لاینینگ تونل شماره ۴ به صورت بتن پمپ شونده اجرا گردیده است و در بتن پمپ شونده در صورت استفاده از مصالح شکسته میزان سیمان مصرفی جهت سهولت در پمپ، بسیار بالا می رود که جهت حل این موضوع با اختلاط ماسه شسته از مصالح رودخانه ای با ارزش ماسه ای بالا با ماسه حاصل از هیدروکن (ماسه ساز) بدون شستشو به همراه فیلر موجود استفاده شده است که نتیجه آن ماسه ای بسیار نرم و مطابق مشخصات بدست آمده است.

۱۳- بتن های تولید با انواع طرح اختلاطها کاملا نفوذ ناپذیر نبوده و می بایست جهت بهبود این ویژگی از افزودنی های بتن استفاده کرد که در تونل فوق از افزودنی های فوق روان کننده به همراه واتر پروف بر پایه نفتالین و همچنین افزودنی ژل میکروسیلیس استفاده شده است که علاوه بر افزایش کارآیی موجب آب بندی آن نیز شده است.

منابع

۱- س. حاجتی ضیابری، **"استفاده از فن آوری xypex در ناتروا نمودن بتن"** در اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت، ۱۳۹۰.

۲- ع. خیری مرغزار، ع. وحیدی، ا. علوی مقدم و ا. قدس، **"استفاده از فن آوری نانو در ناتراوایی بتن"** در اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت ۱۳۹۰ .

۳- ک. دهقانیان، **"ساختار کلی دیواره های آب بند بنتونیتی"** در چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، سمنان، ۱۳۸۷.

۴- م. قلهکی و ف. ناطقی، **"دیوار آب بند بتن پلاستیک"** در اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت، ۱۳۹۰.

۵- ع. عجم و ر. مهاجری بر قلعه **"بررسی نسبت آب به سیمان بر روی بتن های پلاستیک دیوار آب بند سدها"** ، در اولین همایش ملی سازه، زلزله، زئوتکنیک، بابلسر، . ۱۳۸۹

۶- م. نژاد نادری **"بررسی عوامل موثر بر آب بند نمودن ساختار جسم بتن"** ، در اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت، .۱۳۹۰

۷- م. صباغی فیروز آبادی، م. رحمیان، ا. نمازی و م. صداقت **"بررسی تاثیرات طرح اختلاط بر تراوایی بتن"** ، در اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب ، رشت . ۱۳۹۰

۸- م. نورپرور، ر. کارباتی اصل و ی. زندی **"بررسی تاثیر پوزولان طبیعی بر خواص بتن پلاستیک"** در دومین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران . ۱۳۸۹

۹- ت. قنبری و ز. فر پور **"بررسی برخی روشهای محافظت از بتن در برابر نفوذ آب و مواد خورنده"** در اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت، . ۱۳۹۰

۱۰- م. نیلی و. خزائی **"بررسی آزمایشگاهی اثر تغییرات طرح مخلوط بتن پلاستیک روی خصوصیات آن"** در دومین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، تهران، . ۱۳۸۴

۱۱- م. عبدی و ن. ا. نصرالهی **"بررسی اثرات فیزیکی و ترکیبات ناشی از واکنش سیمان و بنتونیت در بتن پلاستیک"** در دومین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، . ۱۳۸۴

۱۲- ر. کرباسی و ا. نادری **"بتن پلاستیک"** در اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت، . ۱۳۹۰

۱۳- ایروانی, محمدحسن؛ قاسم حبیب آگهی و محمدجواد عابدینی، ۱۳۹۸، تحلیل قابلیت اعتماد در تونل های خاکی عمیق با در نظر گرفتن پارامتر های ژئوتکنیکی وحایل بندی و استفاده از شبیه ساز مونت کارلو در روش همگرایی همجواری، یازدهمین کنگره ملی مهندسی عمران، شیراز، دانشگاه شیراز

۱۴- پنجی, مهدی؛ بهمن انصاری؛ جعفر عسگری مارنانی و علی انصاری، ۱۳۹۷، اثر سختی لایه های خاک بر الگوی تنش در حضور پوشش بتنی تونل های انتقال آب، فصلنامه سد و نیروگاه برقابی ایران

۱۵- ساقی, حسن و سیف الله زاهدی، ۱۳۹۵، بررسی تونل های متروی شهری تحت اثر زلزله با رویکرد تونل خط ۲ قطارشهری مشهد، سومین کنفرانس ملی مدیریت بحران و HSE در شریان های حیاتی، صنایع و مدیریت شهری، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس

۱۶- صادقی, وحید و علی سنایی راد، ۱۳۹۴، تعیین فشارهای تعادلی زمین در سینه کار حفاری تونل، دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، قم، دانشگاه صنعتی قم

۱۷- احمدزاده, علی؛ راحب باقرپور و سعید مهدوری، ۱۳۹۳، بررسی ضخامت و نفوذپذیری زون تزریقی بر دبی آب ورودی به تونل چشمه روزیه با بهره گیری از روش عددی، اولین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، تهران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشکده عمران دانشگاه شهید رجایی

۱۸- بهادری, محمدمهدی، ۱۳۹۸، نقش BIM در کاهش هزینه ، زمان و افزایش بهره وری پروژه های حفاری و لاینینگ تونل، سومین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت، تهران، دانشگاه صنعتی شریف

۱۹- افروغ ثابت، وحید، نیلی، محمود (۱۳۸۹). **"تأثیر میکروسیلیس و الیاف پلی پروپیلن بر میزان جذب آب بتن"**، اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت.

۲۰- اکنونی، شادی، میرنامی، توکلی زاده، محمد رضا (۱۳۸۷). **"بررسی تاثیر شکل و اندازه بر مقاومت نمونه های بتنی"**، چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، سمنان.

۲۱- بابائی، غلامحسین، امامی، سپیده (۱۳۸۹). **"بررسی نسبت آب به سیمان در بتن های نا تراوا"**، اولین کنفرانس بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت.

۲۲- باقری، علیرضا، زنگانه، حامد، شاهمرادی، مصطفی، عادلی، مصطفی (۱۳۹۰). **"بررسی تاثیر الیاف پلیمری ماکرو بر روی طاقت خمشی بتن"**، سومین کنفرانس ملی سالیانه انجمن بتن ایران، تهران.

۲۳- پرنا، مهدی (۱۳۸۲). تکنولوژی بتن، انتشارات آزاده.

۲۴- رضوانی دیوکلایی، سید معین، حسینعلی بیگی، مرتضی، عمادی، سید امیر علی، علیجانی اردشیر، مهدی (۱۳۸۸). **"بررسی اثر پذیری خواص مکانیکی بتن خودتراکم الیافی در مقابل تغییرات میزان آب و الیاف"**، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز.

۲۵- شکربگی، مهدی، شکربگی، یونس (۱۳۸۹). **"استفاده از الیاف پلیمری (الیاف فولادی وپلی پروپیلن) جهت بهبود کیفیت بتن در سازه های آبی ودریایی"**، اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت.

۲۶- صادق زاده رودسری، رضا (۱۳۸۹). **"تولید بتن ناتراوا با مقاومت فشاری بالا و کاربرد آن در مخازن"** ، اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت.

۲۷- صباغی فیروزآبادی، محمدحسین، رحمیان، مجید، نمازی، امیرعلی، صداقت، محمد مهدی (۱۳۸۹). **"بررسی تاثیرات طرح اختلاط بر تراوایی بتن"**، اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، رشت.

۲۸- صدرممتازی، علی، افسوس بی ریا، حامد، کافی سیاه اسطلخی، پویا، باقری پوراصیل، میثم (۱۳۹۲). **"بررسی ومطالعه آزمایشگاهی بتن های مسلح به الیاف شیشه"**، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران GFRC، زاهدان.

۲۹- مقررات ملی ساختمان ایران مبحث نهم (۱۳۹۲). طرح و اجرای ساختمان های بتن آرمه. وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت امور مسکن و ساختمان.

۳۰- مستوفی نژاد، داوود (۱۳۸۰). بررسی تجربی خواص بتن مسلح به الیاف شیشه (.(GFRCنشریه استقلال، سال ۲۰، شماره۱.

۳۱- موستوفی نژاد، داوود (۱۳۸۷). سازه های بتن آرمه. اصفهان، انتشارات اردکان دانش.

۳۲- موسوی، حسن (۱۳۹۰). **"عوامل موثر بر مقاومت فشاری و دوام بتن"**، ماهنامه علمی- تخصصی فن آوری سیمان، شماره ۴۵.

۳۳- وظیفه خواه، نیما، مناف پور، علیرضا (۱۳۸۹). **"بررسی آزمایشگاهی مقاومت کششی بتن با الیاف فولادی"**، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد.

۳۴- حمیدرضا خدابخش ، ۱۳۹۹، مقاوم سازی بتن در مقابل فشار منفی آب با استفاده از عوامل مقاوم ساز پلیمری و معدنی ،پایان نامه ، دانشگاه تبریز، دانشکده شیمی.

35- H. Süleyman Gökçe, Daniel Hatungimana, Kambiz Ramyar, Effect of fly ash and silica fume on hardened properties of foam concrete, Construction and Building Materials 194 (2019) 1–11.

36- Yang Ju, Kaipei Tian, Hongbin Liu, Experimental investigation of the effect of silica fume on the thermal spalling of reactive powder concrete, Construction and Building Materials 155 (2017) 571–583 [8] Mahmoud Nili, V. Afroughsabet, The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete, Construction and Building Materials 24 (2010) 927–933.

37- R.E. Melchers, A.T. Beck, Structural reliability analysis and prediction, John Wiley & Sons, 2018.

38- S.H. Ghasemi, Target reliability analysis for structures, 2015.

39- H.-S. Lee, Y.-J. Lee, S.-W. Seo, Y.-C. Hwang, A study on the treatment of external water pressure for the water pressure tunnel at the structural analysis of concrete lining, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, 17(6) (2015) 653-664.

40- Q. Pan, D. Dias, The effect of pore water pressure on tunnel face stability, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 40(15) (2016) 2123-2136.

41- M.o.R.U. Development, Railways technical maintenance and maintenance guide, Ministry of Roads, Department of Transportation, Tehran, 2012

42- C.-Q. Li, S. Yang, Prediction of concrete crack width under combined reinforcement corrosion and applied load, Journal of engineering mechanics,137(11) (2011) 722-731.

43- C. Qian, B. Huang, Y. Wang, M. Wu, Water seepage flow in concrete, Construction and building materials, 35 (2012) 491-496

44- S.-S. Park, S.-J. Kwon, S.H. Jung, S.-W. Lee, Modeling of water permeability in early aged concrete with cracks based on micro pore structure, Construction and Building Materials, 27(1) (2012) 597-604.

45- Kubal, M.T., Construction Waterproofing Handbook: McGraw-Hill Company, 2nd edition, New York. US, (2008), p. 576.

46- Gambhir, M.L., Concrete technology: Tata McGraw-Hill Education company, Third edition, new delhi, (2013).

47- Allen, R.T.L., Edwards, S.C., Shaw, D.N., Repair of concrete structures: Blackie Academic and Professional, secend edition, London, UK, (1993).

48- Bassi, R., Roy, S.K., Handbook of coatings for concrete: Whittles Publishing, Scotland. UK, (2002).

49- Henshell, J., The manual of below-grade waterproofing systems: Routledge Company, second edition, New York. US, (2016).

50- Ranka, A.I., Mehta, P.V.- No. 7,553,983 "**Organosilicon compounds**", U.S., (2009).

51- Yoon, S., Oh, S.-g., Ha, J., The effects of surface treatments on rapid chloride permeability tests, Materials Chemistry and Physics, Vol. 135, (2012), p. 699-708.

52- BS, EN- 1504-2 "**Products and systems for the protection and repair of concrete structures**", European standard, (2004).

53- ACI- 546R "Guide to concrete repair", (2007).

54- Bentur, A., Berke, N., Diamond, S., Steel corrosion in concrete: fundamentals and civil engineering practice: E and FN SPON London, (1997), p. 94-145.

55- Al-Otoom, A., Al-Khlaifa, A., Shawaqfeh, A., Crystallization technology for reducing water permeability into concrete, Industrial & engineering chemistry research, Vol. 46, (2007), p. 5463-5467.

56- Newman, J., Choo, B.S., Advanced concrete technology: Elsevier, (2003).

57- Ghaderi, A., Shokri, M., Hashemi, A., "**Methods of waterproofing concrete**", 2nd International Congress on Structure , Architecture and Urban Development Tabriz , Iran, 2014.

58- Žižková, N., Nevřivová, L., Lédl, M., "**Durability of Cement Based Mortars Containing Crystalline Additives**", Defect and Diffusion Forum: Trans Tech Publ, 2018.

59- Medeiros, M.H.F., Helene, P., Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: Influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption, Construction and Building Materials, Vol. 23, (2009).

60- Luping, T., Nilsson, L.-O., Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electric field, Materials Journal, Vol.89, (1993), p. 49-53.

61- Sotoudeh, M.H., Vazinram, F., Khodaparast, M.M., "**INFLUENCE OF WATERPROOFING ADMIXTURE IN WATER PENETRATION OF CONCRETE**", 3rd International Conference on Concrete and Development, 2009.

62- Monteiro, L., "**Surface protection of concrete. Influence of the substrate preparation in the performance of impregnation products,**" MSc Dissertation in Civil Engineering, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Portuguese, 2011.

63- Zakari, M., Keyvanfar, A., Zaimi, M., Shafaghat, A., Jahangir, M., Waterproof performance of concrete: A critical review on implemented approaches, Construction and Building Materials, Vol. 101, (2015), p. 80-90.

64- Komaki, M.E., Ghodrati, A.R., Eslami, M., "**Improvement of rubber self-consolidating concrete by utilizing Penetron**", 8th Annual Iranian Concrete Conference, Tehran, 2016.

65- New Technologies Company, "**Negative Pressure Products DataSheet**", IRCo, (2014).

66- Couple shimi Sepahan Company, "**LIS DataSheet: COUPSYL LS-densifier**", IRCo, (2017).

67- ASTM- D7088-17 "**Standard Practice for Resistance to Hydrostatic Pressure for Coatings Used in Below Grade Applications Applied to Masonry**", West Conshohocken, PA, (2017).

68- ACI- 211 "**Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete**", American Concrete Institute, (2002).

69- ASTM- E514 "**Standard Test Method for Water Penetration and Leakage Through Masonry**", (2014).

70- New Technologies Company, "**WaterSeal Product Data**", IRCo, (2014).

71- https://www.jaycar.com.au/pocket-size-moisture-level-meter-for-wood-building-materials/p/QP2310, (Jan. 2020).

72- ASTM- D714 "**Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints**", (2009).

73- JIS- A 1171 "**Test methods for polymer- modified mortar**", Japanese Industrial Standard, (2000).

74- Ahmadipourinaeim, S.H., Saberi,Y. (2014). "**Study on the Effect of Polypropylene Fibers on Strength and Heat Resistance of Concrete**". Department of Institute of Building Construction and Technology, Faculty of Civil Engineering., Islamic Azad University of Tabriz, Iran. World Applied Sciences Journal 31 (5): 767-770.

75- Chandramouli, K., Srinivasa, Rao, P., Pannirselvam, N., Seshadri Sekhar, T., Sravana, P. (2010). "**Strength Properties of Glass Fiber Concrete**". Priyadrashini Institute of Technology for Women,Tenali, Guntur, Andhra Pradesh, India ,JNTU College of Engineering, Hyderabad, Andhra Pradesh, India ,VIT University, Vellore, India ,Samual George Institute of Technology, Markapur, Prakasam District, Andhra Pradesh, India, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences.

76- Kafeel, A., Ahmed, R., Uzma, K., Sherif, k. (2014). "**Effect of Compressive Strength on Bond Behaviour of Steel Reinforcing Bar in Fiber Reinforced Concrete**". Department of Civil Engineering, University of Engineering & Technology, Lahore, Pakistan ,Department of Civil Engineering, Qassim University, Al Qassim, Saudi Arabia Global Engineering Associates, Lahore, Pakistan ,International Journal of Current Engineering and Technology.

77- Khuntia, B., Stojadinovic, S.C. (1999). "**Shear Strength of Normal and High Strength Fiber Reinforced Concrete Beam Without Stirrups**". pp.282-289.

78- Krishna Rao, M.V., Rathish Kumar, P., Srinivas, B. (2011). "**Effect of Size and Shape of Specimen on Compressive Strength of Glass Fiber Reinforced Concrete (GFRC)**". Department of Civil Engineering CBIT, Hyderabad and NIT Warangal, FACTA Universitatis Series, Architecture and Civil Engineering Vol. 9, pp.1-9.

79- Muhammad, N.S., Hadi. (2008). "**Aninvestigation of the Behaviour of Steel and Polypropylene Fiber Reinforced Concrete Slabs**". School of Civil, Mining and Environmental Engineering, University of Wollongong ,Wollongong, NSW 2522, Australia.

80- Raikar, R.V., Karjinni, V.V., Gundakalle, V.D. (2012). "**Study on Strength Parameters of Steel Fiber Reinforced High Strength Concrete**". College of Engineering and Technology, Belgaum 590008, Karnataka, Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research, Vol. 1, Issue 4.

81- Singh, S.P. (2010). "**Strenght and Flexural Toughness of Concrete Reinforced with Steel – Polypropylene Hybrid Fibers**". Department of Civil Engineering, Asian Journal of Civil Eengineering (Building and Housing), VOL. 11, NO. 4, Pages 495-507.

82- Tamil Selvi, M. (2013). "**Studies on the Properties of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete without any Admixture**". Department of Civil Engineering Dr. M.G.R., Educational and Research Institute University, Chennai 600095, India , International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 3, Issue 1.

83- Zhang, S.Q., Chen, H.F., Zhong, H., Leung F.M., Nick P. (2008). "**Use of Concrete Admixtures to Produce Waterproof Concrete – Asia Results**", 33 rd Conference on Our World in Concrete & Structures, 25 – 27,Singapore.