

# مروری بر روشهای زهکشی تونلهای قطار شهری

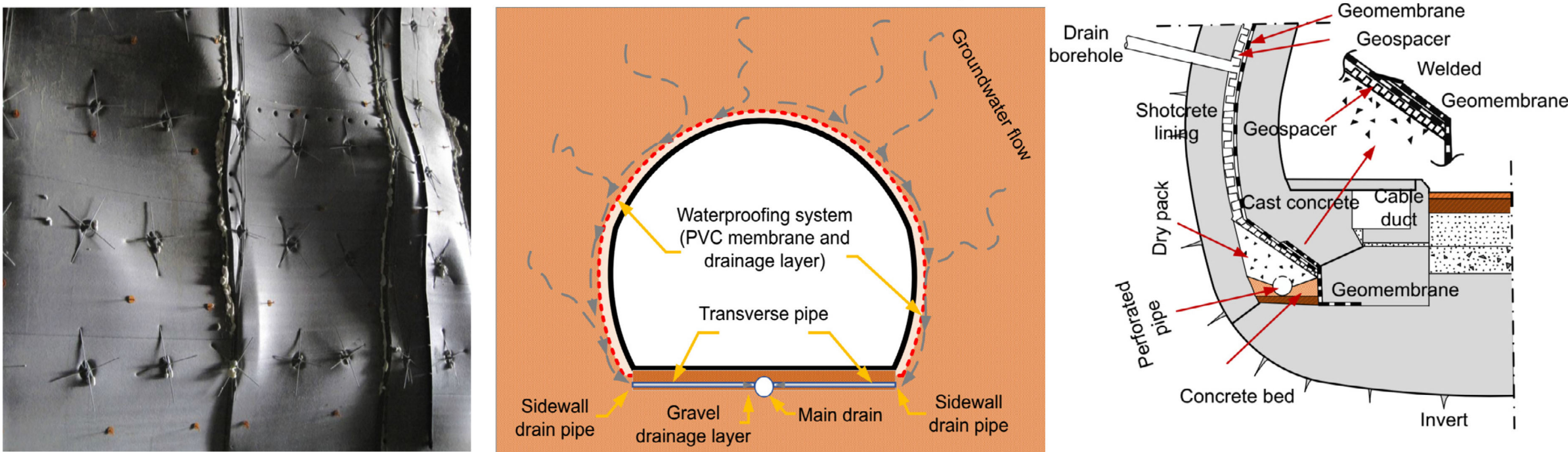
محمد رسول کفایش ، سید محمد ادهم

## سیستمهای زهکشی در تونلهای ژاپن

بیشتر تونلهای کوهستانی در ژاپن زهکشی می شوند تا فشار آب پشت پوشش را کاهش دهند، اما برخی از تونلهای ساخته شده در مناطقی که مجاز به تغییر سطح آب یا ذخیره طبیعی نیستند، آب بندی می شوند. ساختار سیستم ضد آب و زهکشی ژاپن به احتمال زیاد با ساختار در چین مشابه است. این سیستم شامل صفحه ضد آب بین دو لایه، لوله زهکشی طولی، لوله زهکشی حلقوی، آبرو مرکزی زهکشی، منهول و غیره است. تفاوت اصلی در موقعیتی است که گودال زهکشی مرکزی تنظیم شده است.

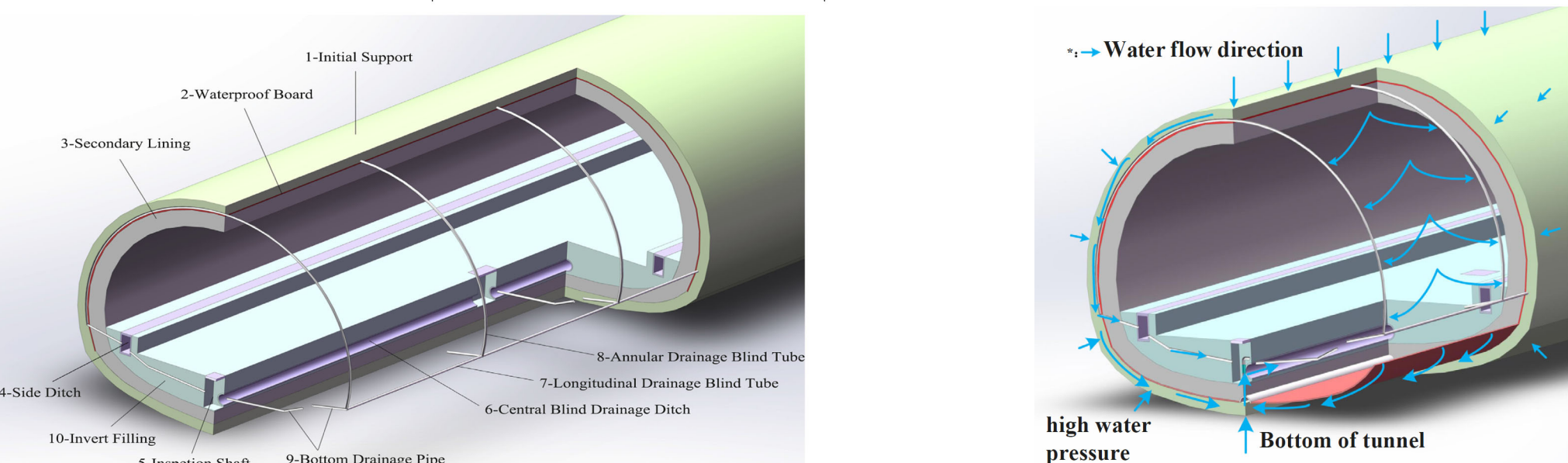
## سیستمهای زهکشی در تونلهای کره جنوبی

در سیستم ضد آب و زهکشی تونل در کره جنوبی، غشای PVC باید بین پوشش اولیه شانکریت و پوشش بتنی نهایی برای ضد آب شدن قرار گیرد و در پشت غشا، یک ژئوتکستایل یا ژئوکامپوزیت به عنوان یک لایه زهکشی قرار می گیرد. آب در لوله تخلیه دیواره جانبی جمع می شود، سپس از طریق لوله های عرضی به تخلیه اصلی در قسمت مرکزی تونل منتهی می شود. این لوله ها به جز تخلیه اصلی در قسمت های بالایی خود سوراخ شده اند. در زیر لوله عرضی، یک لایه زهکشی شن وجود دارد. پوشش در تونل ها با این نوع سیستم زهکشی می تواند سبک و نازک تر طراحی شود.



## سیستم های زهکشی در تونل های چین

اکثریت قریب به اتفاق تونلهای راه آهن در چین با روش جدید تونل سازی اتریسی (NATM) ساخته می شود. به منظور بهبود ایمنی و دوام سازه پشتیبان، پوشش کامپوزیت طراحی شده است. سیستم ضد آب و زهکشی آب بین پشتیبان اولیه شانکریت و پوشش ثانویه بتن جایگذاری شده است. سیستم استاندارد ضد آب و زهکشی تونل راه آهن در چین نسبتاً بی نقص است که متشکل از ساختار پوشش ضد آب، سیستم پارتیشن ضد آب و سیستم زهکشی تونل ساخته شده است.



## اقدامات جمع آوری و زهکشی آب های زیرزمینی در حین ساخت تونل

اقدامات عملیاتی احتمالی جمع آوری و زهکشی آب های زیرزمینی در حین ساخت تونل برای حفظ برنامه ساخت در جدول ارائه شده است که می توان به صورت جداگانه یا ترکیبی با توجه به روند ساخت، شرایط محلی و شرایط زمین از آن ها استفاده کرد.

اقدام	هدف و ویژگی
کانال زهکشی	حذف آبهای زیرزمینی، رسوب گذاری، آبهای سرویس و سطحی از حفاری تونل (بگبری آزاد)
گمانه زهکشی	تست فشار استاتیک آب
تونل زهکشی	مقطع نهایی را میتوان هم در داخل و هم خارج تا معاملات پیشرفت به حداقل ممکن برسد
شلنگهای مکش	انفعال فشار منفی برای تأمین شیب فشار مورد نیاز برای اطمینان از جریان، حذف آب نگه داشته شده در خاک یا عمل موربگی
عملیات فشرده سازی هوا	پایداری آب در خاک
تزریق/انجماد زمین	آب بندی آب غالب

## نتیجه گیری

با بررسی روش های مختلف زهکشی می توان به نکات کلیدی زیر اشاره کرد: سیستم زهکشی فیلتر محیطی در چند مورد قابل استفاده یا مقرون به صرفه نیست: ۱- در تونل های با قطر زیاد به علت حجم بالای مصالح مورد نیاز برای زهکشی کلی جداره تونل ۲- در تونل های با سطح مقطع غیردایروی به علت ملاحظات اجرایی دشوار برای زهکشی کامل جداره تونل؛ ۳- در تونل های تک لایه به علت لزوم اجرای نوع سیستم زهکشی ذکر شده در بین پوشش موقتی و دائمی که این امر باعث کاهش عمر مفید زهکشی مذکور می شود. اگرچه سیستم ضد آب و زهکشی موجود در دنیا در مشخصات دارای کاربرد خوبی است و همچنین از نظر تئوری دارای اثر ضد آب و زهکشی خوبی است، اما در استفاده واقعی، نشت آب، رسوب مسدود کننده و مجموعه ای از مشکلات ناشی از کیفیت پایین ساخت و ساز وجود دارد. اقدامات آب گیری در حین ساخت تونل شامل کانال زهکشی، گمانه زهکشی، تونل زهکشی، شلنگ های مکش، عملیات فشرده سازی هوا، تزریق و انجماد زمین و همچنین روش های جمع آوری آب در حین ساخت شامل روش های جمع آوری نقطه ای، جمع آوری خطی و جمع آوری سطحی به کار گرفته شده است. گمانه های زهکشی که پس از پیشروی انجام شده اند می توانند مانع از افزایش شیب جریان در اثر شانکریت ضد آب شوند و همچنین مزیت کاهش فشار استاتیک به پوشش نگهدارنده را دارند. گمانه های زهکشی پیش از پیشروی در شرایطی معقول هستند که با جریان آب سنگین و یا انتظار جریان های ناگهانی اما قابل پیش بینی آب انتظار رود و یا زهکشی پیشرو بتواند به طور قابل توجهی کارهای بعدی حفاری و پشتیبانی را ساده کند و همچنین در حالتی که فشار جریان بتواند به طور قابل توجهی پایداری سازه ای را مختل کند. تدارک یک تونل زهکشی یا مطرح کردن آن زمانی عملیاتی است که ورودی آب زیاد باشد و همچنین ممکن است برای اهداف دیگری مانند تهویه، واریسی یا به عنوان یک مسیر آزمایشی مفید باشد.

## مراجع

[1] Fahimifar, A., Zareifard, M.R., 2009. A theoretical solution for analysis of tunnels below groundwater considering the hydraulic-mechanical coupling. Tunn. Undergr. Space Technol. 24 (6), 634-646. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2009.06.002>.  
[2] Kolymbas, D., Wagner, P., 2007. Groundwater ingress to tunnels – the exact analytical solution. Tunn. Undergr. Space Technol. 22 (1), 23-27. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2006.02.001>.  
[3] Wang, X., Wang, M.S., Zhang, M., 2004. Simple method to calculate tunnel discharge and external water pressure on lining. J. Northern Jiaotong Univ. 28 (1), 8-10.  
[4] Fan, L.F., Wu, Z.J., Wan, Z., Gao, J.W., 2017. Experimental investigation of thermal effects on dynamic behavior of granite. Appl. Therm. Eng. 125, 94-103.  
[5] Fang, Q., Song, H., Zhang, D., 2015. Complex variable analysis for stress distribution of an underwater tunnel in an elastic half plane. Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech. 39, 1821-1835. <https://doi.org/10.1002/nag.234>.  
[6] Farhadian, H., Katibeh, H., 2017. New empirical model to evaluate groundwater flow into circular tunnel using multiple regression analysis. Int. J. Min. Sci. Technol. 27 (3), 415-421. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.03.005>.  
[7] Ma, G.W., Wang, H.D., Fan, L.F., Wang, B., 2017. Simulation of two-phase flow in horizontal fracture networks with numerical manifold method. Adv. Water Resour. 108, 293-309.  
[8] Kolymbas, D., 2008. Tunneling and Tunnel Mechanics: A Rational Approach to Tunneling. Springer.

## چکیده

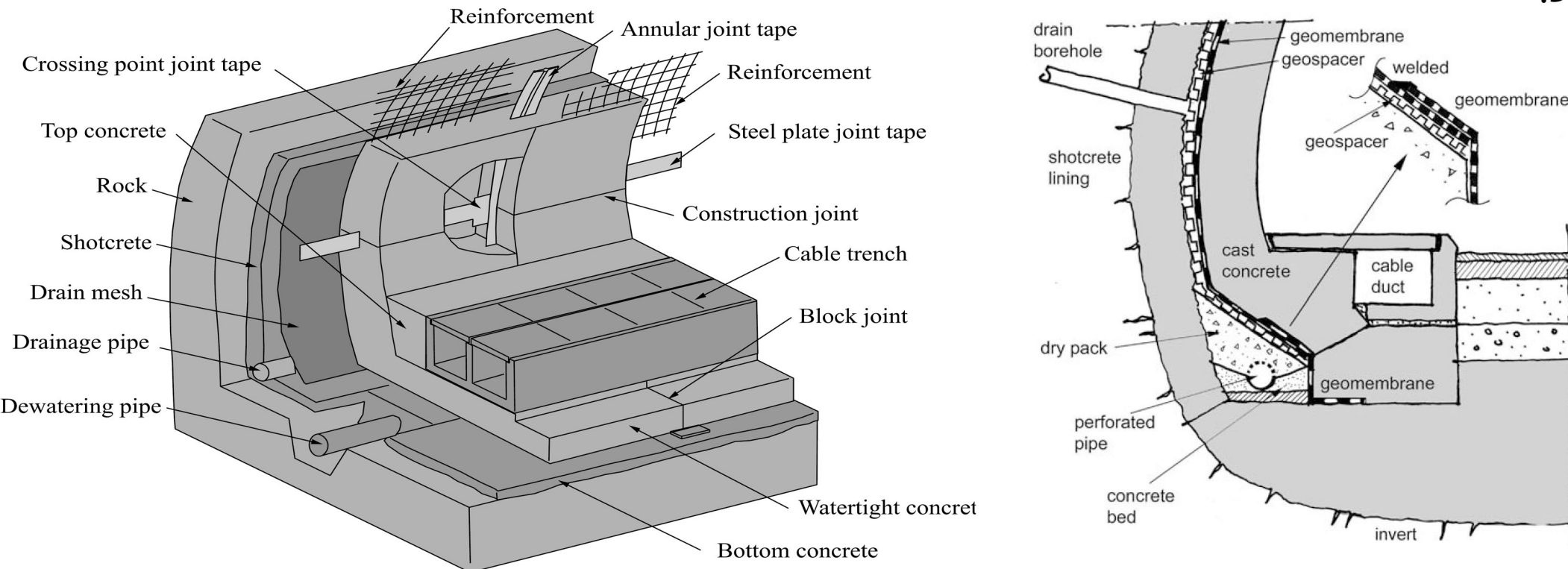
تراوش یکی از مسائل موجود در تونل های قطار شهری است. این مسئله به دلیل اینکه فشار آب حفره ای یک نیروی اضافی را به پوشش تونل وارد می کند، اهمیت ویژه ای دارد. زیرا این نیروی تراوش اضافی، در خاک ها و سنگ های ضعیف و با نفوذپذیری کم می تواند عامل ناپایداری تونل شود. از سوی دیگر فشار زیاد آب در ته تونل، هنگامی که سیستم زهکشی به خوبی طراحی نشده باشد، ممکن است بستر تونل را دچار عوارضی همچون آلودگی، پمپاژ گل ولای، نشست زیاد و غیره کند. لذا نیاز به زهکشی در این تونل ها، حائز اهمیت ویژه ای است. تا کنون مطالعات نسبتاً کمی بر روی سیستم های زهکشی مذکور و عوامل مؤثر در آن ها انجام شده است. در این پژوهش، به مرور رویکردهای مختلف زهکشی تونل ها پرداخته شده است.

## مقدمه

سیستم آب بندی و زهکشی آب نقش مهمی در کنترل فشار آب خارجی روی پوشش دارد که شامل دو نوع اصلی است. یکی از آن ها سیستم ضد آب است و اجازه ورود آب زیرزمینی به داخل تونل را نمی دهد. مورد دیگر سیستم زهکشی است که اجازه جریان آب های زیرزمینی مجاز در تونل را می دهد. پوشش ضد آب می تواند فشار آب خارجی را افزایش دهد، اما یک سیستم زهکشی می تواند آن را کاهش دهد. بسیاری از محققان با استفاده از آنالیز، شبیه سازی عددی و آزمایش فیزیکی، چگونگی تأثیر فشار آب خارجی بر خصوصیات مکانیکی پوشش را بررسی کردند [۱ و ۲]. در روش مهندسی، برخی از استراتژی ها از جمله تزریق و همچنین روش سوراخ زهکشی بر اساس تحقیقات ارائه شده است [۳ و ۴]. اگرچه تأثیر قابل توجهی در فشار آب خارجی روی پوشش ها وجود دارد با این حال، مطالعات بسیار اندکی بر سیستم ضد آب و زهکشی تونل ها تمرکز داشته است. در این مطالعه، رویکردهای مختلف زهکشی تونل های قطار شهری گردآوری شده است.

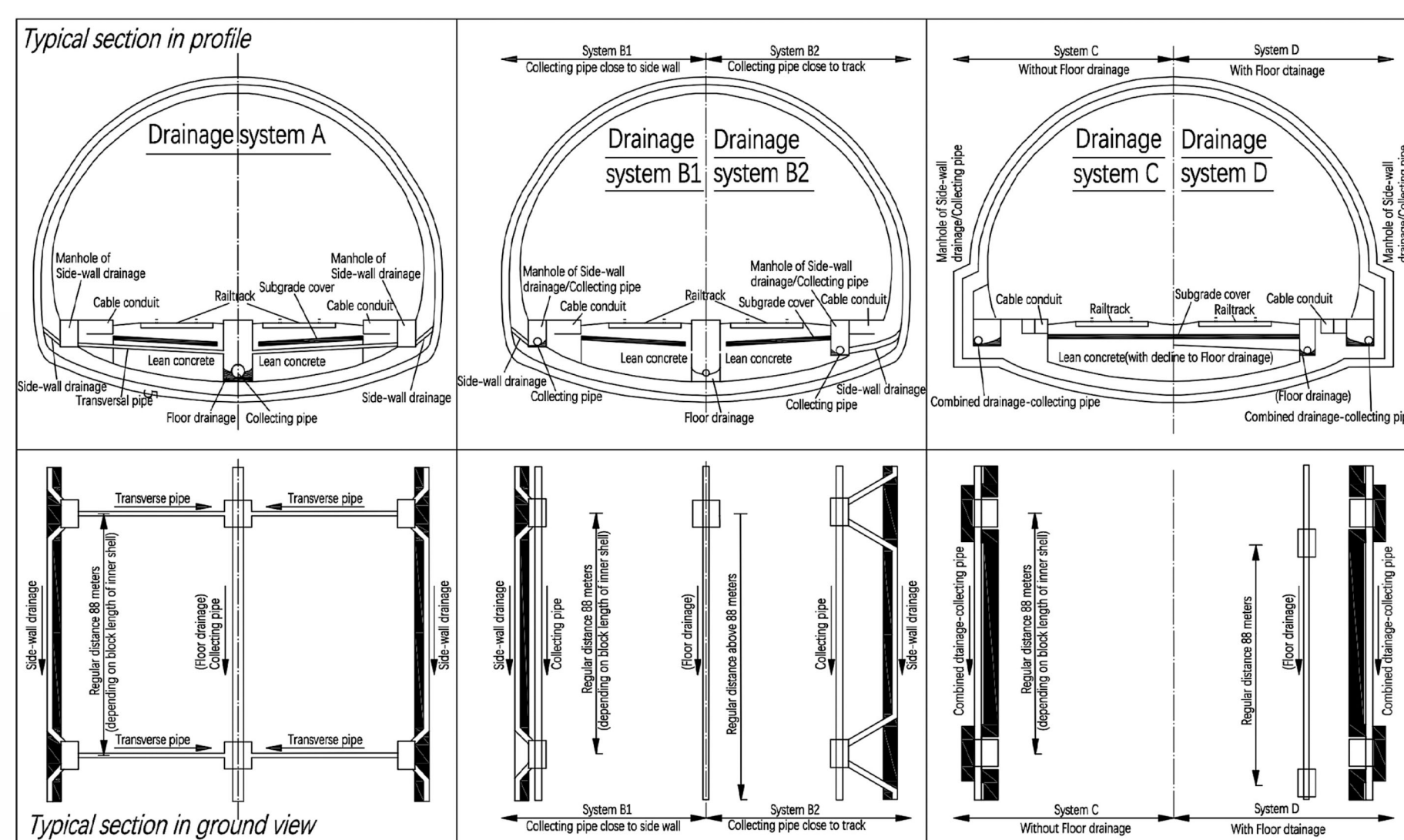
## طبقه بندی روش های زهکشی

از جهت فن اجرای سیستم های زهکشی تونل، می توان آن را به ۳ دسته سیستم زهکشی فیلتر محیطی و سیستم زهکشی لوله اتصالی و سیستم چتری دسته بندی کرد [۸]. سیستم زهکشی فیلتر محیطی در چند مورد قابل استفاده یا مقرون به صرفه نیست: ۱- در تونل های با قطر زیاد به علت حجم بالای مصالح مورد نیاز برای زهکشی کلی جداره تونل که باعث می شود از لحاظ اقتصادی دیگر توجیه پذیر نباشد؛ ۲- در تونل های با سطح مقطع غیردایروی به علت ملاحظات اجرایی دشوار برای زهکشی کامل جداره تونل؛ ۳- در تونل های تک لایه ای به علت لزوم اجرای نوع سیستم زهکشی ذکر شده در بین پوشش موقتی و دائمی که این امر باعث کاهش عمر مفید زهکشی مذکور در هنگام کاربرد در تونل های تک لایه می شود.



## سیستم های زهکشی معمول در تونل های ترافیکی اروپا

سیستم های زهکشی تونلهای ترافیکی اروپا را با توجه به موقعیت نصب زهکشی کف می توان در ۴ نوع چنانچه در شکل ۲ نمایش داده شده، طبقه بندی کرد. نوع A زهکشی کف که همان لوله جمع کننده است در پایین مرکز تونل نصب می شود. آب ابتدا به زهکشی دیواره جانبی می ریزد و سپس از لوله عرضی عبور می کند و در نهایت در لوله جمع کننده، جمع می شود. لوله های عرضی بین منهول زهکشی دیواره جانبی و منهول لوله جمع آوری نصب می شوند. فاصله بین دو منهول در جهت طولی به طور منظم ۸۸ متر است. نوع B زهکشی کف و لوله جمع کننده را جدا می کند. زهکشی کف در قسمت مرکزی تونل تنظیم شده است، در حالی که لوله جمع کننده در نزدیکی دیواره جانبی تنظیم شده است. نوع C زهکشی کف را حذف می کند و لوله جمع کننده ترکیبی، خارج از پوشش نصب می شود. نوع D در هر طرف تونل در مقایسه با نوع C یک زهکشی کف اضافه می کند و باعث کاهش زهکشی کف در بتن تکیه گاه می شود.



## سیستم های زهکشی معمول در تونل های سوند و نروژ

بیشتر تونل ها در کشورهای شمال اروپا مانند سوئد و نروژ، تونل های سنگی هستند. پوشش تک پوسته به طور گسترده در تونل های سنگی اعمال می شود. سیستم زهکشی ابتدا با یک لایه شانکریت معمولی پوشانده می شود، سپس یک تشک فوم مواد پلی اتیلنی با انواع مختلف اتصالات فولادی نصب می شود. سرانجام تشک ها با دو لایه شانکریت معمولی پوشانده می شوند، یک لایه ۶۰ میلی متر مسلح شده با فولاد و تقویت شده با الیاف پلی پروپیلن ساخته شده و لایه دیگر فقط با الیاف پلی پروپیلن است که می تواند مقاومت در برابر آتش شانکریت را بهبود بخشد. آب روی تشک ها جمع شده و به لوله های زهکشی در پایین تونل منتهی می شود که آب را از تونل خارج می کند.