

Research Paper

مقاله پژوهشی

Regional Tilt Study of Trees and Structures Due to Soil Settlement of Broken Pipe of Water Distribution Network in Tehran

بررسی کج شدن ناحیه‌ای درختان و سازه‌ها ناشی از نشست خاک در اثر شکستگی لوله شبکه توزیع آب در تهران

Nozar Nozary¹, Reza mastouri^{2*} and Seyed Mohammad Mirhosseini²

1- Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

*Corresponding Author, Email: r-mastouri@iau-arak.ac.ir

Received: 26/06/2022
Revised: 07/11/2022
Accepted: 14/11/2022
© IWWA

نوذر نوذری^۱، رضا مستوری^{۲*} و سید محمد میرحسینی^۲
۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.
۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: r-mastouri@iau-arak.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۵
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳
© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

Burst of the water pipe causes soil settlement, which can cause deformation in structures and trees, depending on the type of soil and weight of structures. Damages caused by this phenomenon in Iran are covered by fire building insurance. Fire station is under the supervision of the municipality of Tehran. The analysis of four-year data of urban water pipe burst in District 5 of Tehran has been done. This analysis helps to find places with burst to find a way to preserve trees after water pipes burst. In this research, the bursting of the water pipe, which has caused damage to the building, asphalt, etc., has been selected in the places where the data was available, and then the effect of the bursting of the water pipe on the trees has been investigated and analyzed. In these accidents, trees and utilities around the place where the water pipe burst were examined to eliminate the effects of wind or pests and sunlight, etc., that affect the trees, so that by comparing the pipe burst on them, the area of the urban water pipe burst could have been managed to cause less damage to the trees and utilities.

Keywords: Tree tilting; Water pipe burst; Settlement; Urban water distribution network.

چکیده

شکستگی لوله آب باعث آبستگی خاک و پدیده نشست خاک می‌شود که می‌تواند بسته به نوع خاک و وزن موجب تغییر شکل در سازه و درختان شود. خسارت‌های ناشی از این پدیده در ایران توسط بیمه آتش‌سوزی پوشش داده می‌شود و در هنگام نشست، آتش‌نشانی که زیر نظر شهرداری است به ایمن‌سازی محل می‌پردازد. بررسی و تحلیل داده‌های چهار ساله شکستگی، لوله آب شهری در منطقه ۵ تهران انجام شده است. در این تحقیق موارد ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب در مکان‌هایی که اطلاعات حادثه موجود بوده انتخاب و بررسی شده است. در این حوادث درختان و علایم راهنمایی و رانندگی و تیرهای برق اطراف محل ترکیدگی لوله آب برای حذف اثرات عوامل باد یا آفت و نور خورشید و غیره که بر درختان موثر هستند، بررسی شده است که با توجه به نتایج، باعث کج شدن ناحیه‌ای درختان و سازه‌ها به صورت یک‌طرفه و زیگزاک در اثر نشست خاک ناشی از شکستگی لوله شبکه توزیع آب شده است.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع آب، شکستگی لوله آب شهری، کج شدگی درختان، نشست.

درختان توسط محققان دیگر در شهر تهران در اثر افزایش رطوبت خاک و فاصله و آبیاری سطحی بررسی شده است (مستوری و همکاران، ۱۴۰۰). تحقیقات نشان داده است که معیار ضعف ساختاری با ۶۱ درصد بیشترین سهم را در خطر آفرینی برای درختان چنار داشته است. ضعف ساختاری، ناشی از ناپایداری درخت است که بخشی تحت تاثیر عوامل مرتبط با ریشه درخت است (قهساره، ۱۴۰۰).

با توجه به این که شرکت های آب و فاضلاب هیچ اشاره ای به خسارات ناشی از این حوادث نکرده اند لذا گزارش ها، عکس ها و فیلم های موجود که در خبرگزاری های داخل کشور و شکایات صورت گرفته، بیشتر بررسی شده است. از طرفی شهرداری ها بیشترین تعمیرات و اصلاحات را در سازه های شهری انجام داده اند که گزارش آن در بخش مدیریت بحران شهری آمده است. هم چنین در طول زمان تغییرات فقط توسط شهرداری ها مشاهده می شود و در غیر حوادث بازدید میدانی توسط شرکت های آب و فاضلاب از مسیر لوله ها در سطح زمین انجام نمی شود (تقوایی و همکاران، ۱۳۹۱). در سال های گذشته در تهران و شهرهای دیگر شکستگی شبکه توزیع لوله آب باعث نشست در راه ها و ساختمان های بسیاری شده است که به چند نمونه از شهرهای مختلف در ادامه اشاره می شود. در سال ۱۳۸۹ ترکیدگی لوله آب شبکه توزیع موجب نشست زمین میدان منیریه تهران در اثر شسته شدن خاک شده است (خبرگزاری مهر، ۱۳۸۹). در سال ۱۳۹۵ نشست زمین در خیابان ولیعصر تهران به دلیل ترکیدگی لوله آب شبکه توزیع شهری گزارش شده است (خبرگزاری ایلنا، ۱۳۹۵). در سال ۱۳۹۷ ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب شهری در قزوین و نشست زمین و خطر ریزش ساختمان گزارش شده است (خبرگزاری جوان، ۱۳۹۷). در سال ۱۳۹۸ ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب شهری در شهر ری تهران موجب فرونشست زمین شده است (خبرگزاری ایرنا، ۱۳۹۸). در سال ۱۳۹۹ شکستگی لوله موجب فرونشست زمین در خیابان خرمشهر مشهد شده است (خبرگزاری تسنیم، ۱۳۹۹) به نقل از معاونت فنی و عمرانی شهرداری تبریز، در سال ۱۳۹۹ اصلاح نشست خیابان ناشی از ترکیدگی لوله انتقال آب در خیابان امام خمینی انجام شده است (شهرداری منطقه هشت تبریز، ۱۳۹۹). در سال ۱۴۰۰ نشست آسفالت خیابان کارگر به دلیل ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب شهری گزارش شده است (خبرگزاری آنا، ۱۴۰۰). ارزیابی این حوادث، از بعد این که چه سازمانی متولی این کار است نیز بین شهرداری، آتش نشانی و امور آبفا و مدیریت بحران و غیره پیچیدگی هایی دارد. از این لحاظ که اگر ترکیدگی رخ دهد و آب

گزارش های مربوط به شرکت های آب و فاضلاب محیط شهری نشان می دهد سالانه نزدیک به یک میلیون حادثه در شبکه توزیع آب شهری ایران به وقوع می پیوندد (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۹). این موضوع تاثیر زیادی بر سازه های نزدیک محل شکستگی در محیط شهری برجای می گذارد. آلودگی هوا، شرایط نامناسب زیستی و طرح های عمرانی از برجسته ترین عوامل آسیب دیدن چنارها در حاشیه خیابان است. از طرفی، تهران به شهر چناران مشهور بوده است و حفظ چنارهای کهن سال این شهر ارزش تاریخی و محیط زیستی دارد (هویدی و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به اهمیت این موضوع، در این تحقیق حوادث شبکه آبرسانی منطقه ۵ شهرداری تهران از نظر تعداد، جنس، قطر لوله و زمان شکستگی مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا اطلاعات و آمار شکستگی از امور مشترکین و کارشناسان رسمی دادگستری منطقه تهیه شد و سپس با مراجعه به محل حادثه، وضعیت درختان بررسی و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بررسی درختان از این لحاظ مهم است که با شناسایی تغییر شکل درختان در محل، می توان به نشت احتمالی شبکه توزیع آب یا مشکلات شبکه جمع آوری آب و فاضلاب و مدیریت آب های سطحی ناشی از بالا رفتن سطح آب زیرزمینی و نشست خاک پی برد. براساس نتایج آنالیز حساسیت قطر تاج، طول تاج درخت، انحراف تنه درخت و قطر یقه درخت به ترتیب بیشترین تاثیر را در طبقه بندی شدت ریسک درختان خطر آفرین داشته اند که انحراف تنه درخت به وضعیت ریشه در خاک و عوامل موثر بر آن بستگی دارد (جهانی، ۱۳۹۵).

نوآوری پیشهادی در تحقیق حاضر، ساده بوده و نیازمند هیچ دستگاه پیچیده برای گمانه زنی نیست و می توان با مشاهدات عینی و جمع آوری شواهد در محل، تصمیم گیری برای جابجایی درخت یا محافظت از درخت تصمیم گیری کرد و یا تعمیرات شبکه آب با حفاظت از درختان را انجام داد. جلوگیری از نشست یک ساختمان کاری پیچیده و گاهی غیرممکن است اما درخت موجود زنده ای است که می تواند با کمک ما به بازسازی خود و تطبیق با شرایط جدید بپردازد. یکی از مواردی که در چند سال اخیر زمینه را برای حوادث درختان بالا برده است کج شدن درختان است. بدین صورت که ریشه های درخت سالم از خاک بالا زده و قابل مشاهده هستند و درخت هیچ گونه آسیب مکانیکی و آفت نیز ندارد. الگوهای کج شدگی تک درخت یا کج شدگی ناحیه ای در مسیر جریان آب های سطحی نیست. الگوهای گروهی کج شدگی

اصلی آن پوسیدگی و شکست لوله‌ها است (مطیعی و همکاران، ۱۳۹۶).

در مطالعات گذشته محققان برای بررسی تأثیر آب و خاک بر لنگرگاه درختان مدل جدیدی برای لنگر انداختن درختان ایجاد شد که شامل توصیف دقیق خواص مکانیکی خاک و معماری ریشه‌ها در این مدل است و می‌تواند به درختان در مراحل مختلف رشد و گونه‌های مختلف قابل تعمیم باشد. خاک‌های مختلف در ترکیب با داده‌های میدانی با شبیه‌سازی‌های مدل‌های قبلی نشان داد که لنگرگاه کاج پیناستر جوان در شن‌ها با خیس شدن خاک به شدت کاهش نمی‌یابد. تا زمانی که خاک به اشباع برسد اشباع کامل افت قابل توجهی در لنگرگاه درخت ایجاد می‌کند. این یافته با یافته‌های قبلی فاصله دارد. این اثر آب و خاک باعث کج‌شدن و بالا‌زدگی ریشه درخت از درون خاک در حالت اشباع دارد (Défosse et al., 2021).

در این تحقیق اثر شکستگی لوله‌های شبکه توزیع آب شهری بر روی درختان و سایر سازه‌های اطراف محل حادثه برای اولین بار در تهران بررسی شده است. عوامل موثر از قبیل مکانیک خاک و درختان، سازه‌ها و نوع کج‌شدگی آن‌ها و قطر لوله شبکه توزیع آب در محل شکستگی نیز طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل شده است که جزء نوآوری این مقاله است. هدف از انجام این تحقیق حفاظت از درختان و نشت‌یابی شبکه توزیع آب شهری با شیوه‌ای نوین است. با توجه به این موضوع بررسی میدانی و جمع‌آوری اطلاعات انجام شده است. در گذشته دستورالعمل یا گزارشی در این خصوص برای ارزیابی درختان وجود نداشته است و لذا از نتایج موجود در این مقاله می‌تواند بهره‌برده و رویکردهای جدیدی را تدوین نمود.

۲- مواد و روش‌ها

الگوی کج‌شدن گروهی درختان در شهر تهران به دو عامل آب و خاک بستگی دارد. درختان آب مورد نیاز خود را از طریق ریشه و از طریق آبیاری سطحی و بارندگی و یا زیرسطحی (آبیاری قطره ای) از ریشه درون خاک دریافت می‌کنند. خاک مناسب گیاه خاکی است که دارای میزان مناسبی ماسه، لای و رس و فضای کافی برای رسیدن آب به ریشه باشد. اگر خاک اطراف درخت شخم زده شود مقاومت خاک را کمتر از خاک زیر سازه‌های ساختمانی اطراف می‌کند. لذا مقایسه الگوی خاص کج‌شدگی درختان در یک مسیر آبرو و بحث ناحیه‌ای کج‌شدگی سازه‌ها دارای اشتراکات و تفاوت‌هایی است (مستوری و همکاران، ۱۴۰۰).

به سطح زمین نرسد و آب وارد چاه فاضلاب ساختمان بشود و با ورود آب، خاک اطراف چاه سست شود و ساختمان نشست کند، وحدت‌نظر بین کارشناسان موجود نیست. زیرا که آب ناشی از ترکیب لوله در سطح زمین جاری نشده است که می‌توان به گزارش خانه‌های روی آب ورامین و گزارشات آبفا و آتش‌نشانی در سال ۱۳۹۱ اشاره کرد (خبرگزاری مهر، ۱۳۹۱). در گزارشات مدیریت بحران شهرداری تهران به ترکیب لوله شبکه توزیع آب شهری به‌عنوان یکی از دلایل نشست ساختمان و فرونشست زمین در تهران تاکید شده است (تقوایی و همکاران، ۱۳۹۱). در سال ۱۴۰۱ اقدام به موقع سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، از احتمال فروریزش بزرگراه شهید چمران که بر اثر ترکیب لوله آب در مسیر شمال به جنوب رخ داده بود، جلوگیری شد (خبرگزاری ایرنا، ۱۴۰۱).

درختان نقش‌های متفاوتی در محیط شهری تهران ایفا می‌کنند، زیرا به کاهش اثر بحران آب، بحران ریزگردها و آلودگی هوا افسردگی شهروندان کمک کرده و از طرف دیگر با افزایش و زیبایی شهر و ایجاد سایه در خیابان‌ها و ایجاد پناهگاه برای جانداران و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها به مدیریت شهری کمک می‌کنند. با توجه به این‌که در کشورهای دیگر مانند انگلیس و آمریکا این قبیل بحران‌ها وجود ندارد، مشکل ترکیب لوله‌های شهری اکثراً از دیدگاه سازه‌ای بررسی می‌شود و اثر ترکیب لوله‌ها بر وضعیت درختان بررسی نشده است. در صورتی که درخت نیز همانند سایر سازه‌ها بر بستر خاکی متکی است و آسیب می‌بیند. مشکل دیگر در بررسی این موضوع در ایران و شاید دنیا عدم وجود آمارهای صحیح و یا نبود آمار است، زیرا هیچ سازمانی گزارشی مبنی بر خطا برای اصلاح رویکردها و عملکردهای خود برای کسب نتایج بهتر ارائه نمی‌کند و معمولاً به پوشاندن قضیه می‌پردازد. لذا نقش خبرگزاری‌ها در ایران و خارج از کشور در تهیه گزارش از این نوع حوادث می‌تواند کمک‌کننده باشد.

امروزه به‌علت بالا بودن عمر سامانه‌های آب در کشور و نیاز مبرم به ارتقای این سامانه‌ها، تقاضا برای تحقیق بیشتر در این حوزه وجود دارد. یکی از راه‌کارها و کلیدهای مهم مدیریت بهینه بهره‌برداری، اتخاذ استراتژی‌های صحیح نوسازی و بازسازی در شبکه‌های توزیع آب شهری، پیش‌بینی نرخ شکست لوله‌ها و ارزیابی قابلیت کاربری آن‌ها است. در نتیجه لازم است بررسی کاملی از حوادث و اتفاقات شبکه، عوامل مؤثر در ایجاد حادثه و تأثیر مشخصات لوله‌ها در تعداد حوادث و اتفاقات شبکه داشت. در شهر تهران براساس وضعیت موجود میزان تلفات آب بین ۲۵ تا ۳۰ درصد حجم کل آب تامین شده بوده که یکی از عوامل

شهرسازی آزمایش شده است. وزن مخصوص تنه درخت چنار سالم که در تصادف خودرو خیابان ولیعصر سقوط کرده و قطع شده بود ۴۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود. با توجه با این نکته که درخت هنگام تصادف خشک نبوده است. در این تحقیق، داده‌های امور مشترکین از حوادث ترکیدگی شبکه آب و داده‌های نشست ساختمان‌ها براساس نظریه کارشناسان رسمی دادگستری بررسی شده است. لازم به ذکر است طول لوله و جزئیات انشعابات در نظر گرفته نشده، زیرا داده‌ها پراکنده بود. هم‌چنین در این مدت (۱۳۹۵-۱۳۹۹) بسیاری از درختان قطع و یا ساختمان جدید ساخته شده و یا هرس‌هایی برای سقوط نکردن درختان انجام شده بود (شکل ۱) که دیگر امکان بررسی باقی نمی‌گذاشت. لذا تقریباً ۱۸ درصد داده‌ها از بین‌رفته بود و افراد صاحب‌صلاحیت برای جمع‌آوری داده و یا شهود کافی وجود نداشت. خوشبختانه در یک مورد با حضور در لحظه شکستگی خط لوله، اطلاعات آن ثبت شد. همان‌طور که گفته شد، حفاظت از درختان بعد از شکستگی خطوط توزیع آب شهری که دارای نشست آنی خاک است لازم است.



شکل ۱- هرس درخت پس از کج شدن در اثر ترکیدگی شبکه توزیع آب

جدول ۱- مشخصات میانگین خاک غالب منطقه ۵ در محل‌هایی که کج‌شدگی اتفاق افتاده

عمق خاک (cm)	۱۰	۳۵	۷۰
چسبندگی خاک C (KPa)	۶۰/۳	۴/۱۴	۳/۳
ضریب اصطکاک ϕ (degrees)	۶/۷	۳۶/۹	۳۶/۳
تخلخل e	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۳۷

ترکیدگی یا شکستگی لوله آب باعث ایجاد آب‌شستگی، فرسایش داخلی یا رگاب، شکست هیدرولیکی خاک و نشست در اثر فشار جریان آب می‌شود. این اتفاق باعث کاهش ظرفیت باربری خاک و ایجاد فضای خالی بیشتر بین ذرات خاک می‌شود که می‌تواند منجر به نشست شود. مدل‌سازی اجزای محدود این مسئله توسط برخی از محققان با نرم‌افزار Abacus برای تک درختان قرار گرفته بر روی خاک با درجه اشباع ۷۰ و ۱۰۰ درصد انجام شده است (مستوری، ۱۴۰۰). با مراجعه به تمامی سازمان‌ها و جمع‌آوری اطلاعات و شواهد که در طول ۴ سال از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ در خصوص شکستگی شبکه توزیع آب مشاهده و ثبت شده است، اطلاعات خاک و آب و درختان و تغییر شکل درختان طبقه‌بندی و مطابق استاندارد بررسی شده است (Keller et al., 2013).

شایان توجه است که در مورد درختان با عمر بالا و وزن بالا، کج‌شدگی با توجه به نشست آنی بسیار سریع است و پدیده جداشدگی ریشه درخت (فارغ از نوع درخت) از درون خاک به‌وجود می‌آید. بیرون‌زدگی ریشه از خاک و کج‌شدگی درختان اثر مهمی در خطرات درختان چنار در تهران دارد (Pourhashemi et al., 2012). نمونه‌برداری خاک منطقه و آزمایش پارامترهای موثر آن برای محاسبه ظرفیت باربری خاک در حالت اشباع و غیر اشباع مقایسه شده است تا تحت تاثیر یک نیروی وزن ثابت مقایسه شود (حالت اشباع زمانی است که لوله شبکه توزیع آب ترکیده باشد). درختان و سایر سازه‌ها در محل حوادث ترکیدگی در شعاع ۵ متری محل بررسی شده‌اند و عوامل دیگر موثر از قبیل نور و باد در مقایسه با نشست خاک ناشی از ترکیدگی و آسیب‌های آن بر روی درختان در ناحیه ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب بررسی می‌شود.

۱-۲- مطالعه و جمع‌آوری داده‌های خاک و درختان منطقه

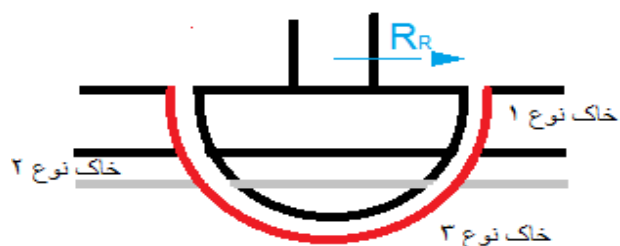
۵

در این مطالعه، متر لیزری با دقت ± 2 میلی‌متر و دمای کاری ۴۰-۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شده و میزان کج‌شدگی درختان و علایم رانندگی با این متر اندازه‌گیری شده است. هم‌چنین نمونه‌های خاک غیر ریشه‌دار و غیراشباع از محل تهیه شده و ۳ نمونه خاک از نظر رطوبت (وزن آب در ۱۰۰ گرم خاک خشک) آزمایش شده و نتایج، تجزیه و تحلیل و میانگین‌گیری شده است. خاک منطقه ۵ عمدتاً دارای بافت رسوبی و ترکیب ۷۴/۶ درصد ماسه، ۲۰/۲ درصد سیلت و ۵/۲ درصد رس بود. وزن مخصوص خاک خشک ۱۶۳۵/۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود که در جدول ۱ به تفصیل ارائه و در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک وزارت راه و

توده خاکی را که ریشه درگیر می‌کند) و قطر تنه و سن درخت متفاوت است. نیروی محرک به صورت مشکی رنگ در شکل ۲ و با شعاع صفحه ریشه R_R و هر دو نیروی مقاوم و محرک بر روی سطح نیمکره به شعاع صفحه ریشه در شکل ۲ به صورت دو بعدی نشان داده شده است. بالا آمدن سطح آب در یک لایه خاک باعث کاهش مقاومت برشی خاک می‌شود. در این حالت از میزان تنش موثر کاسته خواهد شد، زیرا تنش برشی توسط ذرات خاک به وجود می‌آید و آب نیروی برشی را تحمل نمی‌کند.

$$M_R = 1.86 \pi \tau R_R^3 \quad (1)$$

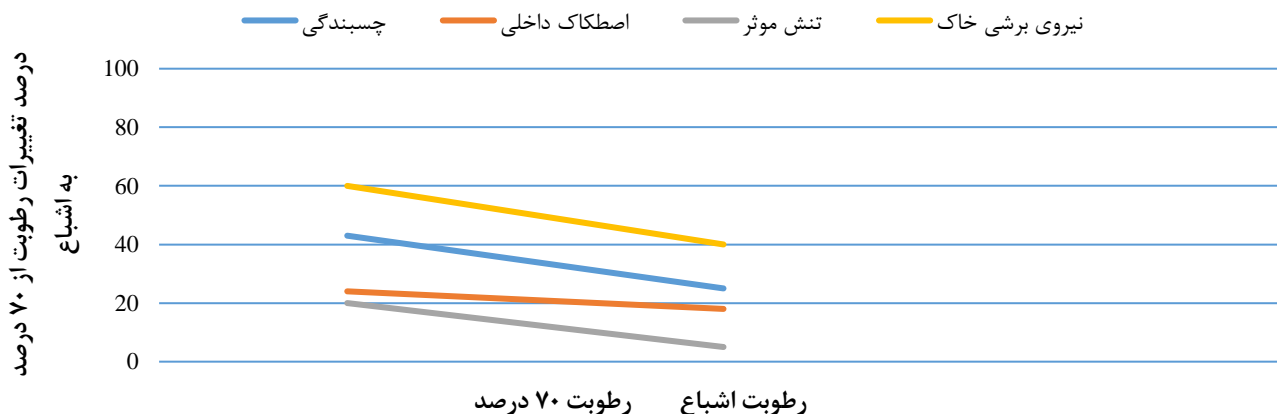
$$\tau = C + \sigma \tan \varphi \quad (2)$$



شکل ۲- شعاع صفحه ریشه و نیروهای برشی خاک

آزمایش‌های انجام شده توسط محققان مختلف نشان داده است مقاومت برشی در خاک نباتی با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۲). این امر باعث کاهش لنگر مقاوم در مقابل چرخش خواهد شد. مقایسه انجام شده در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

وزن درخت با وزن خاک و ریشه آن در خاک‌های مختلف متناسب است، به طوری که با افزایش وزن درخت ریشه‌ها گسترده‌تر شده و وزن خاک بیشتری را در بر می‌گیرند تا درخت در تعادل قرار بگیرد. کاهش مقاومت خاک با افزایش رطوبت می‌تواند به کاهش نیروی نگهدارنده در تراز ریشه و کج شدن درخت بیانجامد. رطوبت خاک و مشخصات دما توسط ایستگاه‌های هواشناسی از عمق ۷۰ سانتی‌متر اعلام و ثبت می‌شود. لذا عمق صفحه ریشه را معمولاً تا ۷۰ سانتی‌متر فرض می‌کنند. لنگر مقاوم برای جابجایی درخت در خاک و عدم کج شدن درخت به صورت رابطه (۱) است (Matthek et al., 1995). همان‌طور که مشاهده می‌شود این فرمول به مقاومت برشی خاک طبق معادله (۲) بستگی دارد که با افزایش رطوبت در خاک‌ها این مقاومت کاهش و در نتیجه احتمال کج شدن درخت تحت بار استاتیکی خود درخت افزایش می‌یابد (Matthek et al., 1995). معمولاً مشخصات خاک در عمق یکسان نیست و هر خاک نیروی برشی مقاوم مطابق با مشخصات خود را دارد. مجموع تک‌تک این نیروها نیروی برشی مقاوم کل به رنگ قرمز در شکل ۲ را تشکیل می‌دهد. لنگر مقاوم و محرک کج شدن درخت به صورت دو نیروی برشی مقاوم و محرک بر روی سطح نیمکره است. نیروی محرک شامل نیروی برشی ناشی از چرخش وزن خاک و ریشه و درخت ناشی از خروج از مرکزیت ثقل در اثر نشست خاک و یا تاج درخت در اثر وزش باد می‌تواند باشد که برای هر درخت بسته به نوع ریشه راست یا افشان (میزان



شکل ۱- مقایسه پارامترهای لنگر خمشی با شعاع صفحه ریشه ثابت در رطوبت‌های ۷۰ درصد و اشباع

اتفاق افتاده است. اما همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود حوادثی که در لوله‌های با قطر بالاتر بوده خسارت بیشتری به درختان و ساختمان‌ها وارد نموده، به طوری که منجر به پرداخت خسارت به شاکیان که مالکین ساختمان‌ها بوده‌اند شده است. در یکی از اتفاقات که مشاهده شد درخت نشست آبی داشت، برای درخت حفاظ گذاشته شد تا سقوط نکند. در شکل ۴ مشاهده

۳- یافته‌ها و بحث

در جدول ۲ مشاهده می‌شود که بیشترین تعداد حوادث در فصول تابستان و پاییز اتفاق افتاده است. افزایش مصرف و تغییرات فشار در شبکه توزیع آب در این دو فصل از عوامل این پدیده می‌تواند باشد. از طرفی بیشترین تعداد حوادث در لوله‌های با قطر پایین

سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ نشان می‌دهد که به‌طور کلی حتی اگر فشار شبکه ثابت بوده و تغییر چندانی نداشته باشد، تواتر شکستگی‌ها در یک شبکه آبرسانی می‌تواند به‌صورت فصلی و یا از سالی به سال دیگر تغییر کند. این تغییرات به‌دنبال اثرات اقلیمی نظیر دماهای بالا یا پائین آب و هوا یا تغییرات در رطوبت خاک که منجر به رانش و حرکت زمین می‌شود، اتفاق می‌افتد. از این‌رو برخی از محققان بر این باورند که شکستگی‌های مربوط به افزایش نوسانات فصلی، وابسته به فشار نبوده و تحت تأثیر مدیریت فشار نخواهند بود. ترک‌های حلقه‌ای که در خطوط اصلی با قطر پائین عموماً و جنس چدن و آزیست سیمان اغلب در زمان رانش یا حرکت خاک تجربه می‌شوند، نشان‌دهنده افزایش نوسانات فصلی و طبیعی شکستگی‌ها بوده مستقل از فشار هستند (مصلحی و همکاران، ۱۳۹۵).

می‌شود که درختان کهنسال و سنگین‌وزن تا درختان جوان و نهال‌ها، دچار کج‌شدگی بیشتری بر اثر ترکیدگی لوله شبکه توزیع آب می‌شوند.

مشکلات ریشه و زخم بیشترین سهم را در خطر آفرینی درختان چنار دارند. براساس طبقه‌بندی درختان در حال حاضر، چنار در طبقه‌های خطر بسیار کم و کم قرارداد ولی در آینده قابلیت تبدیل‌شدن به درختان خطرناک را دارد (نافعیان و همکاران، ۱۴۰۰). یکی دیگر از مواردی که محققان در بررسی‌های خود در کنار درختان لحاظ کرده بودند، وضعیت روسازی کنار درختان بوده است. زیرا آسفالت در نقاطی که نشست وجود داشت دچار ترک‌خوردگی شده بود و در سطح خیابان و کوچه نیز نشست خاک مشهود بود (Wang et al., 2020).
مطالعات گروه کاری هدررفت آب انجمن بین‌المللی آب بین

جدول ۲- حوادث شبکه توزیع آب در منطقه ۵ غرب تهران از سال ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹

نوع و قطر لوله و تعداد حوادث در فصول مختلف												۴ ۳ ۲ ۱ ۰ حادث
PE ۱۱۰	PE ۹۰	PE ۶۳	چدنی ۱۵۰	چدنی ۸۰	چدنی ۶۰	داکتیل ۲۰۰	داکتیل ۸۰	داکتیل ۶۰	آزیست ۲۰۰	آزیست ۸۰	آزیست ۶۰	
۴	۸	۱۲	۳	۸	۱۰	۵۹	۶۵	۷۰	۱	۳	۵	حادث
۰	۱	۲	۰	۲	۱	۷	۹	۱۴	۰	۰	۱	بهار
۲	۳	۴	۲	۳	۵	۱۹	۲۳	۲۵	۰	۱	۲	تابستان
۱	۳	۵	۱	۳	۳	۲۴	۲۷	۲۱	۱	۲	۱	پاییز
۱	۱	۱	۰	۰	۱	۹	۶	۱۰	۰	۰	۱	زمستان



شکل ۲- نشست سازه در اثر ترکیدگی شبکه توزیع آب و کج‌شدن درختان

جدول ۳- کج‌شدگی علائم راهنمایی و درختان براساس قطر لوله ترکیده و نشست ساختمان

۲۰۰	۱۵۰	۱۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۶۳	۶۳-۶۰	قطر لوله (mm)
۱۰۸	۳	۴۱	۲۸	۱۶	تعداد درختان کج‌شده
۱۹	۱	۱۳	۷	۳	تعداد ساختمان‌های نشست کرده
۳۰	۲	۲۱	۱۴	۵	تعداد علائم و تیرهای برق کج شده
۰/۹۱	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۶۷	نسبت درختان کج‌شده به کل درختان در شعاع ۵ متری محل ترکیدگی



شکل ۴- ترکیب‌دهی شبکه توزیع آب و کج‌شدن درخت

که کج نشده‌اند اگر به‌صورت دایره فرض شوند، قطرشان حدوداً از ۱۰ سانتی‌متر به پایین است که نشان می‌دهد تازه کاشته شده‌اند. در صورتی که سن درختان کج شده به‌طور میانگین بالای ۴۰ سال است. از شناسنامه درختان فضای سبز شهرداری تهران استفاده می‌شود که میانگین محیط بسیار بالاتر از درختان جوان است. محیط تنه درخت در ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متری سطح زمین اندازه‌گیری شده است.

جدول ۴- نوع و تعداد درختان کج شده براساس قطر تنه درخت

نوع درخت	چنار	کاج	سایر گونه‌ها
تعداد درختان کج در محل حادثه	۱۷۱	۲۲	۳
تعداد درختان غیر کج در محل حادثه	۲	۸	۳
میانگین محیط درختان کج‌نشده	۴۴/۵	۳۳/۷	۲۸/۱
میانگین سن درختان کج‌شده	۴۱	۱۵	۱۳/۵

دو دلیل که در گذشته به‌عنوان علت کج‌شدن درختان مطرح بود چرخش تاج درخت به‌سمت نور و کج‌شدن در اثر نیروی باد بوده است. برای ارزیابی صحت این ادعا یک روش خلاقانه در محیط‌های شهری دنبال شد که نتایج آن در جدول‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. برای این منظور تمامی علائم راهنمایی و رانندگی کج‌شده که سیستم نصب آن‌ها به‌صورت کار گذاشتن در گودال به‌همراه بتن‌ریزی در زیر آن بود و فاصله آن‌ها از درختان و از یکدیگر و روند کج‌شدن آن‌ها در محل شکستگی لوله شبکه توزیع آب بررسی شدند. دو نکته دارای اهمیت باید ذکر شود. اول: سطح بادگیر علائم راهنمایی و رانندگی و تیر چراغ برق و غیره نسبت به درخت بسیار اندک است، با این‌وجود این علائم نیز کج‌شده بودند. فاصله علائم راهنمایی و رانندگی از کف زمین ۲/۵ متر است که باد نیرویی ناچیز به آن وارد می‌کند و مقاومت برشی خاک اجازه کج‌شدن را نمی‌دهد. دوم: کج‌شدن این علائم در کنار

افزایش رطوبت در خاک‌های شنی (این خاک دارای نسبت زیاد شن و درصد کمی رس است و به خاک سبک نیز معروف معروف است) با خاک‌های رسی متفاوت است. این خاک‌ها پس از آبیاری یا باران به‌سرعت تخلیه شده و به‌راحتی قابل کشت می‌شوند. این نوع خاک که در فصل بهار نسبت به خاک‌های رسی زودتر گرم می‌شوند و از طرفی به سرعت نیز خشک خواهند شد، باعث کاهش ظرفیت باربری خاک در حالت اشباع می‌شود و می‌تواند باعث جابجایی درخت و تغییر مرکز جرم بر اثر نشست و ایجاد لنگر خمشی در اثر وزن تنه و تاج درخت شود لذا درخت شروع به کج‌شدن می‌کند. تنها عامل بازدارنده در این حالت، پایداری ریشه درخت است که با توجه به برای لنگر خمشی وارده ناشی از نیروی وزن باعث بیرون کشیده‌شدن ریشه درخت از درون خاک شده و چرخه افزایش لنگر و افزایش فضای خالی با بیرون کشیده‌شدن ریشه در خاک به‌وجود آید. این فضای خالی که رابطه مستقیم با ضریب تخلخل دارد با جایگزین شدن با آب، به از ریشه درآمدن درخت با افزایش نیروی لنگر خمشی کمک می‌کند (Zhang et al., 2020). با توجه به میزان تراکم خاک در عمق‌های مختلف و عمقی که لوله در زیر سطح زمین قرار دارد تراکم خاک تا عمق ۷۰ سانتی‌متر بررسی و ضریب تخلخل آن برداشت شد. میزان انحراف درختان در ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متری با خط عمود بر زمین در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری که بالای ۲۵ درجه به‌عنوان درخت کج غیرمعمول محسوب می‌شود (Garrido et al., 2015) زیرا براساس قانون اصلی بارگذاری برای تحلیل پایداری سیستم‌های بیولوژیکی، با افزایش بارگذاری در ساختارهای زنده، رشد گیاه در نقاط پر بار بیشتر می‌شود. رشد کمتر در جایی که بار بیشتر وجود ندارد اتفاق می‌افتد تا تنش یکنواخت حاصل شود که ناشی از ترمیم یا حفظ به‌صورت طبیعی است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود محیط درختانی

تحلیل قرار می‌گرفت با قاطعیت نمی‌شد گفت باد و نور خورشید در کج شدن بی اثر هستند.

تک درختان در یک محدوده کوچک دلیل محکمی بر اثرگذار نبودن نور خورشید در کج شدنشان است، چون به سمت نور جذب نمی‌شوند و ثابت هستند. اگر به تنهایی درخت مورد تجزیه و

جدول ۵- کج شدن یک طرفه درختان، تیر برق و علایم راهنمایی و رانندگی براساس فاصله کمتر از یک متر

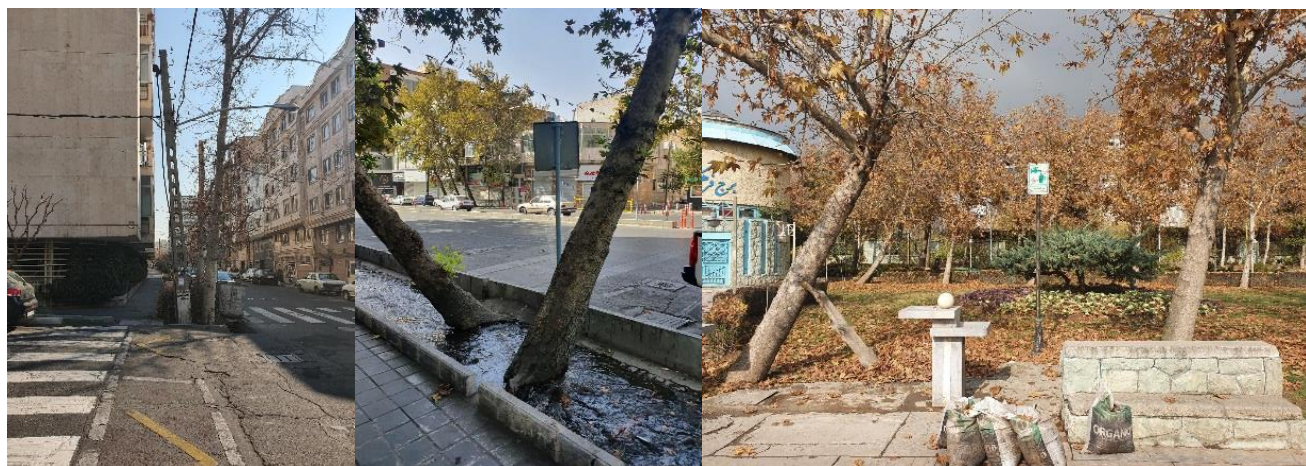
درختان کج شده	تعداد علایم و تیرهای برق کج شده	تعداد علایم و تیرهای برق غیر کج	درختان طبیعی (غیر کج)	درصد درختان به یک سمت کج شده به کل	درصد درختان زیگزاگ کج شده به کل
چنار	۱۸	۰	۱	۳/۷	۳/۹۶
کاج	۴	۱	۳	۳/۱۸	۷/۷۱
سایر	۱	۰	۲	۱/۴۷	۹/۵۲

جدول ۶- کج شدن زیگزاگی درختان، تیر برق و علایم راهنمایی و رانندگی براساس فاصله بیش از یک متر

درختان کج شده	تعداد علایم و تیرهای برق کج شده	تعداد علایم و تیرهای برق غیر کج	درختان طبیعی (غیر کج)	درصد درختان به یک سمت کج شده به کل	درصد درختان زیگزاگ کج شده به کل
چنار	۱۷	۰	۲	۵/۹۷	۵/۲
کاج	۳	۰	۱	۷/۶۸	۳/۲۱
سایر	۱	۲	۲	۳/۵۶	۷/۴۳

بالای ۱۰ درجه است. در صورتی که فواصل کمتر از یک متر باشد، انحراف به صورت زیگزاگ بوده که نسبت به سایر درختان که به صورت صاف بودند مشهود بود. این به خاطر شکستگی لوله شبکه توزیع آب بوده است که در شکل ۵ نشان داده شده است.

در این تحقیق مشاهده شد که اگر فاصله اندازه‌گیری شده درخت، علایم راهنمایی یا تیر برق بیش از یک متر باشد، آن‌ها به یک سمت انحراف پیدا کرده و میزان انحراف بالای ۲۵ درجه خواهد بود. میزان انحراف برای علایم راهنمایی و تیرهای برق



شکل ۵- ترکیدگی لوله آب و کج شدن یک طرفه و زیگزاگ به همراه کج شدن تیر برق

۴- نتیجه‌گیری

درختان اطراف محل شکستگی لوله محافظت شوند تا کج نشوند تا منجر به قطع کابل‌های برق و ایجاد خطر برای شهروندان و تاسیسات شهری نشود.
- از روی کج شدن درختان، علایم راهنمایی و رانندگی و تیرهای برق می‌توان به نشت آب یا ضعف شبکه فاضلاب در محل پی برد.

این تحقیق با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده از مراجع شهری و بررسی آن‌ها و همچنین براساس بازدیدهای محلی به نتایج زیر رسیده است:
- پس از شکستگی یا ترکیدگی لوله توزیع آب شهری باید

خیابان محمدیه قزوین باعث نشست زمین و خسارت به ساختمان‌ها شد"،
<https://www.yjc.news/fa/news/6687386>
خبرگزاری مهر، (۱۳۸۹)، "نشست زمین درمیدان منیره بدلیل ترکیب لوله آب بود"،
<https://www.mehrnews.com/xcd6N>
خبرگزاری مهر، (۱۳۹۱)، "خانه‌های روی آب ورامین و جواب آبفا استان"،
<https://www.mehrnews.com/news/1800173>
رضائی، م.، و طباطبایی کلور، ر.، (۱۳۹۲)، "بررسی تاثیر عمق و رطوبت بر مقاومت برشی خاک در مزرعه و آزمایشگاه"، هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، مشهد،
<https://civilica.com/doc/284411>
شهرداری منطقه هشت تبریز، (۱۳۹۹)، "گزارش امور ارتباطات شهرداری در اصلاح نشست خیابان ناشی از ترکیب لوله انتقال آب در خیابان امام خمینی(ره)"،
<http://m8.tabriz.ir/News/3999/>
عبداللهی، ح.، مامی‌زاده، ج.، و رضایی، ر.، (۱۳۹۹)، "تحلیل شکستگی لوله‌ها در شبکه‌های توزیع آب شهری (مطالعه موردی- بخش صالح آباد- استان ایلام)"، نوزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، مشهد.
قهساره اردستانی، م.، الهام، م.، نافیان، م.، و بهمنی، م.، (۱۴۰۰)، "شناسایی و ارزیابی خطرآفرینی درختان چنار در خیابان عباس‌آباد اصفهان"، دومین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست، اردبیل.
مستوری، ر.، نوذری، ن.، و حسینی، س.، (۱۴۰۰)، "نقش و اثر آب و خاک بر روی الگوی رشد درختان چنار به‌صورت زیگزاگ در تهران"، مجله گیاهان زینتی، (۱)۱۲، ۸۱-۹۰.
مصلحی، ا.، و جلیلی قاضی‌زاده، م.، (۱۳۹۵)، "مروری بر روابط فشار- شکستگی در شبکه‌های آب‌رسانی"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، (۱)۱، ۴۹-۶۰.
مطیعی، ه.، و قاسم‌نژاد، س.، (۱۳۹۶)، "کاربرد و توسعه مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی میزان شکست لوله‌های شبکه توزیع آب شهری - مورد مطالعاتی ناحیه یک منطقه یک تهران"، علوم و مهندسی آب و فاضلاب، (۲)۲، ۴۸-۵۸.
نافیان، م.، بهمنی، م.، قهساره، ا.، و سلطانی، ع.، (۱۳۹۸)، "ارزیابی و مدل‌سازی خطرآفرینی درختان چنار با استفاده از معیارهای تشخیص خطرآفرینی و آنالیز مولفه اصلی"، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، (۲)۲۶، ۱-۱۶.
هویدی، ح.، حمیدی فراهانی، ف.، علیا، ع.، و مهدلویی، س.،

- آموزش ماموران برداشت کنتور آب در خصوص توجه به کجشدن درختان به‌صورت تکی و گروهی، دادن اخطار به مالکین ساختمان‌ها برای نشت‌یابی داخل ملک و همچنین توجه به موارد مشابه در خارج املاک شخصی به‌کاهش هدررفت آب در محیط‌های شهری با روشی ساده و کاربردی کمک می‌کند. بررسی آزمایشی اثر ترکیب لوله بر روی انواع درختان موجود در شهرهای کشور در مقیاس واقعی، می‌تواند به فهم دقیق‌تر موضوع و آموزش بهتر ماموران شرکت آب و فاضلاب یاری نماید.

۵- تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر حسینی مشاور محترم شهردار منطقه ۱۱ به‌خاطر کمک‌های بی‌بدیلشان در جمع‌آوری داده‌ها تشکر و قدردانی می‌نماید.

۶- مراجع

تقوایی، ع. معروفی، س.، و رشتبری، م.، (۱۳۹۱)، "مدیریت بحران در نشست‌های ساختمانی، نمونه موردی: شهر تهران"، مدیریت بحران، (۱)۱، ۲۳-۳۳.
جهانی، ع.، (۱۳۹۵)، "مدل‌سازی ریسک سقوط درختان چنار خطرآفرین در فضای سبز شهری"، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، (۴)۳، ۳۵-۴۸.
خبرگزاری آنا، (۱۴۰۰)، "نشست آسفالت در خیابان کارگر به‌دلیل ترکیب لوله آب"،
<https://ana.press/fa/news/602694>
خبرگزاری ایرنا، (۱۴۰۱)، "عبور از بزرگراه چمران بدلیل ترکیب لوله آب با محدودیت انجام می‌شود"،
<https://www.irna.ir/news/84791746>
خبرگزاری ایرنا، (۱۳۹۸)، "ترکیب لوله آب موجب فرونشست زمین در شهر ری شد"،
<https://www.irna.ir/news/83533490>
خبرگزاری ایلنا، (۱۳۹۵)، "نشست زمین در خیابان ولیعصر به‌دلیل ترکیب لوله آب"،
<https://www.ilna.ir/fa/tiny/news-369272>
خبرگزاری تسنیم، (۱۳۹۹)، "ترکیب لوله آب سبب فرونشست زمین در خیابان خرمشهر مشهد شد"،
<https://www.tasnimnews.com/fa/news/1399/03/07/2274591>
خبرگزاری جوان، (۱۳۹۷)، "ترکیب لوله اصلی آب در

(۱۳۹۰)، "بررسی علل خشک شدن چنارهای خیابان ولیعصر و راه کارهای احیای آن‌ها"، پنجمین همایش ملی مهندسی محیط زیست، تهران.

Défossez, P., Veylon, G., Yang, M., Bonnefond, J.M., Garrigou, D., Trichet, P., and Danjon, F., (2021), "Impact of soil water content on the overturning resistance of young Pinus Pinaster in sandy soil", *Forest Ecology and Management*, 480, 118614.

Garrido, F., San Martín, R., and Lario, F., (2015), "Root structure and biomass partitioning in tilted plants from twisted- and straight-stemmed populations of Pinus pinaster Ait", *Trees*, 29, 759-774, <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1154-y>.

Keller, T., Lamandé, M., Peth, S., Berli, M., Delenne, J.-Y., Baumgarten, W., Rabbel, W., Radjai, F., Rajchenbach, J., and Selvadurai, A.P.S., (2013), "An interdisciplinary approach towards improved understanding of soil deformation during compaction", *Soil and Tillage Research*, 128, 61-80.

Office of the Deputy for Technical Affairs Technical Affairs, (2005), "General specifications for urban water and wastewater pipelines", *Criteria Codification and Earthquake Risk Reduction Affairs Bureau, Journal 303*.

Mattheck, C., Bethge, K., and Albrecht, W., (1995), *Failure modes of trees and related failure criteria*, Wind and Trees (pp. 195-203), Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511600425.011>.

Pourhashemi, M., Esmaeilpour, Kh., and Heidari, M., (2012), "The assessment of hazardous oriental plane (Platanus orientalis L.) trees in Valiasr Street of Tehran", *Forest Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands*, 4(3), 265-275.

Wang, X., Wang, X., Sun, X., Graeme, P., and Abdur, R., (2020), "Effect of pavement and water deficit on biomass allocation and whole-tree transpiration in two contrasting urban tree species", *Urban Ecosystem*, 23, 893-904, <https://doi.org/10.1007/s11252-020-00953-z>.

Zhang, X., Knappett, J.A., Leung, A.K., Ciantia, M.O., Liang, T., and Danjon, F., (2020), "Small-scale modelling of root-soil interaction of trees under lateral loads", *Plant Soil*, 456, 289-305, <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04636-8>.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.