



مهندسی ساختمان و علوم مسکن
دوره چهاردهم، شماره ۲، شماره پیاپی ۲۷
تابستان ۱۴۰۰



صاحب امتیاز: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
مدیر مسؤول: دکتر محمد شکرچی زاده
سر دبیر: دکتر شهرام دلفانی
مدیر اجرایی: معصومه جدی

طراح جلد: فاطمه صادقی طباطبایی زواره

هیأت تحریریه:

دکتر عطا آقایی آرای، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر سعید بختیاری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر علی بیت‌اللهی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر عباسعلی تسنیمی، دانشگاه تربیت مدرس
دکتر محمدرضا حافظی، دانشگاه شهید بهشتی
دکتر شهرام دلفانی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر غزال راهب، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر مهدی زارع، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
دکتر جعفر سبحانی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر محسنعلی شایانفر، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محمد شکرچی زاده، دانشگاه تهران
دکتر فرهنگ فرحبد، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر فرزین کلانتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دکتر بهروز محمدکاری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر علی مرادی، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران
دکتر علی مزروعی، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی
دکتر مهدی معرفت، دانشگاه تربیت مدرس
دکتر سیدرسول میرقادری، دانشکده عمران، دانشگاه تهران
دکتر سهراب ویسه، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی:

چاپخانه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مهندسی ساختمان و علوم مسکن
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
وابسته به وزارت راه و شهرسازی

تهران، بزرگراه شیخ فضل‌ا... نوری، فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان
نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت
صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵
تلفن: ۶-۸۸۲۵۵۹۴۲، دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱
وب سایت: <http://behs.bhrc.ac.ir>
پست الکترونیک: behs@bhrc.ac.ir

فهرست مقالات

- اثر دانه‌بندی و تنش محدودکننده بر نتایج آزمون‌های سه محوری مونوتونیک بزرگ مقیاس مصالح شندار/
عطا آقایی‌آرایی، فرزین کلانتری، عباس قلندرزاده، حبیب شاه‌نظری، ناهید عطارچیان، ایرج رحمانی،
امیرسعید سلامت..... ۱
- ارزیابی تأثیرات عوامل محیطی بر کاهش استرس، اضطراب و افسردگی بیماران در مراکز درمانی (نمونه مطالعاتی:
بیمارستان شهید مصطفی خمینی (ره) شهر ایلام) / عطاءالله یاری‌کیا، عبدالرحمن دیناروند، بهزاد وثیق..... ۱۱
- مطالعه کامپوزیت‌های چوب پلاستیک جهت ایجاد امکان ارزیابی و توسعه کاربرد آنها در نمای ساختمان‌ها/
آزاده عسکری‌نژاد، سهراب ویسه..... ۱۹
- بهینه‌سازی بخشی از شبکه آبرسانی شهر تهران به روش برنامه‌ریزی غیرخطی و تأثیر آن در کمینه‌سازی نشت به عنوان
عاملی تأثیرگذار در مدیریت شهری / علیرضا شاه‌حسینی، محسن نجارچی، محمدمهدی نجفی‌زاده، سیدمحمد میرحسینی هزاوه،
احسان‌الله ضیغمی..... ۲۵
- بررسی تأثیر مواد شیمیایی آنتی‌اسکالانت بر جلوگیری از رسوب در سیستم‌های گرمایش و سرمایش/
آسیه عطاردی‌کاشانی، مهدی تیموری..... ۳۳
- ارزیابی سازگاری کاربری اراضی شهری با کاربری مسکونی در بجنورد/ علی‌اصغر پیله‌ور، نرگس شیرزاد..... ۳۹



اثر دانه‌بندی و تنش محدودکننده بر نتایج آزمون‌های سه محوری مونوتونیک بزرگ مقیاس مصالح شندار

عطا آقایی آرای^{۱*}، فرزین کلانتری^۲، عباس قلندرزاده^۳، حبیب شاه‌نظری^۴،
ناهید عطارچیان^۵، ایرج رحمانی^۶، امیرسعید سلامت^۷

۱. دانشیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بخش ژئوتکنیک و زیرساخت

۲. استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۳. دانشیار، دانشگاه تهران

۴. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۵ و ۶. استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بخش ژئوتکنیک و زیرساخت

۷. کارشناس، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بخش ژئوتکنیک و زیرساخت

* تهران، بزرگراه شیخ فضل... نوری، فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت، صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

E-mail: aghaeiaraei@bhrc.ac.ir

چکیده

انجام دادن آزمایش‌های مونوتونیک سه محوری مصالح شندار و آگاهی از نتایج آنها در انتخاب شرایط و طرح آزمایش‌های سیکلی مقاومتی و دینامیکی و یا تفسیر نتایج آنها بسیار با اهمیت است. مثلاً حداکثر اضافه فشار آب حفره‌ای تولیدی در مرحله گسیختگی و تنش تفاضلی نظیر آزمایش مونوتونیک به ترتیب در تفسیر نتایج آب حفره‌ای و انتخاب نسبت تنش سیکلی مناسب در آزمایش سیکلی مقاومتی مصالح شندار، مفید است. تعیین حداکثر مقاومت مونوتونیک نمونه در انتخاب نسبت غیرهمسانی تنش برای آزمایش‌های دینامیکی لازم است. حتی در بررسی رفتار تغییر شکلی بر اثر رمبش اشباعی مصالح سنگریزه‌ای، انتخاب میزان تنش برشی آزمایش‌های خشک-اشباع، نیازمند انجام دادن آزمایش‌های مونوتونیک روی نمونه خشک است. در حد فاصل سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۷، حدود ۱۵۰ آزمون سه محوری مونوتونیک روی نمونه‌های متراکم تحت شرایط زهکشی شده و زهکشی نشده بر روی انواع مصالح سنگریزه‌ای سدها، خاکریزهای مهندسی انجام شده است. رفتار مکانیکی مصالح خاکی و سنگریزه‌ای وابسته به مشخصات مصالح، شامل: ترکیبات معدنی، دانه‌بندی، شرایط زهکشی، محدوده تنش محدودکننده، مقاومت شکست ذرات، اندازه و شکل ذرات است. با توجه به مشابهت رفتاری مصالح با ویژگی مشابه، مرور اجمالی تجربیات حاصل از آزمایش‌های سه محوری انجام شده، خصوصاً اثرهای دانه‌بندی و تنش محدودکننده، مفید است.

کلیدواژگان

سه محوری، مونوتونیک، تنش محدودکننده

Effect of Particle Size Distribution and Confining Pressure on Monotonic Behaviors in Large Triaxial Tests

Ata Aghei Araei^{1*}, Farzin Kalantari², Abbas Ghalandarzadeh³, Habib Shahnazari⁴, Nahid Attarchian⁵,
Iraj Rahmani⁶, Amir Saeid Salamat⁷

1. Associate Professor, Soil and Foundation, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Soil and Foundation, Khajeh Nasir University, Tehran, Iran

3. Associate Professor, Soil and Foundation, Tehran University, Tehran, Iran

4. Associate Professor, Soil and Foundation, Iran Science and Technology University, Tehran, Iran

5. Assistant Professor, Soil and Foundation, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

6. Assistant Professor, Soil and Foundation, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

7. Expert, Soil and Foundation Department, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

* P.O. Box: 13145-1696, Tehran, Iran, E-mail: aghaeiaraei@bhrc.ac.ir

Abstract

Performing monotonic triaxial tests on gravelly soils and knowledge about their behaviors are prerequisite actions design of cyclic strength and dynamic tests as well as results interpretations. For example, maximum excess pore pressure at failure state and corresponding deviatoric stress are respectively useful in analysis of generated excess pore pressure and adopting cyclic stress ratio in cyclic strength tests over gravelly materials. Maximum monotonic strength is used in selection of induced anisotropy ratios before dynamic testing. Moreover, for saturation collapse test of rockfill material, selection of the level of shear stress in dry-saturated is required dry monotonic tests. During 1994 to 2017, 150 large monotonic triaxial tests are carried out on high compacted rockfill materials and engineering filling under drained and untrained conditions. Mechanical behavior of engineering filling and rockfill materials is depended on mineral composition, grain size distribution, drainage conditions, ranges of confining pressures, particle breakage index, size and shape of grain. Due to similarity of materials behavior with same characteristics, especially about the effect of particle size distribution and confining pressure, assessment of previously obtained results is very useful.

Keywords

Triaxial, Monotonic, Confining Pressure

۱- مقدمه

یکی از راه‌های معمول شناسایی رفتار مکانیکی مصالح خاکی و سنگریزه‌ای، انجام دادن آزمون‌های سه‌محوری متناسب با شرایط خاک در ساختگاه و بارگذاری است [۱]. در سال‌های اخیر، در راستای مطالعات پروژه‌های متعدد عمرانی و خصوصاً سدسازی و مطالعات ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای در مناطق مختلف کشور، انواع روش‌های آزمون سه‌محوری استاتیکی و دینامیکی بنا به فراخور نیاز مورد استفاده بوده و رفتار انواع مصالح خاکی و سنگریزه‌ای در شرایط مختلف در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی مورد آزمایش و مطالعه قرار گرفته است. در طراحی اولیه بدنه خاکریزها، تحلیل‌ها و حتی طراحی آزمایش‌ها، به دلیل مشابهت رفتاری مصالح با ویژگی مشابه، با قضاوت مهندسی، پارامترهای مورد نیاز انتخاب می‌شود. لذا مرور اجمالی تجربیات حاصل از آزمایش‌های سه‌محوری انجام شده با توجه به صرفه‌جویی در وقت و هزینه، بسیار بااهمیت است. دانه‌بندی و حداکثر اندازه دانه‌ها و همچنین تنش محدودکننده از جمله مهمترین پارامترهای تأثیرگذار در رفتار مونوتونیک مصالح است [۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷].

Marachi و همکاران [۸] نشان دادند که مقاومت اصطکاکی و تراکم‌پذیری یک توده دانه‌ای، تابعی از اندازه دانه‌هاست. حداکثر اندازه دانه‌ها در یک نمونه آزمایشگاهی مصالح سنگریزه‌ای (d_{max}) معمولاً از روی کوچکترین بعد نمونه مورد آزمایش (D) تعیین می‌شود. حد پایین نسبت D/d_{max} برای دانه‌بندی عریض برابر با ۴ و برای یک دانه‌بندی باریک برابر با ۶ پیشنهاد شده است [۹]. Watts و Charls [۱۰] پیشنهاد کردند که کمتر از ۳۰٪ وزنی دانه‌ها در حالت دانه‌بندی واقعی، در محدوده اندازه حداکثر باشند.

در شکل ۱ نحوه تغییر زاویه اصطکاک داخلی با حداکثر اندازه دانه‌ها با شرط D/d_{max} برابر با ۶ برای مصالح رودخانه Oroville نشان داده شده است. مصالح شنی این مصالح خوب گرد شده ولی دانه‌های ریزدانه نیمه گرد شده تا نیمه تیز گوشه آمفیبولیت است. ملاحظه می‌شود در کلیه سطوح تنش محدودکننده افزایش d_{max} تا حدود ۱۰۰ mm منجر به کاهش مقدار ϕ می‌شود.

بعد از این که حداکثر اندازه دانه‌ها (d_{max}) با توجه به ابعاد نمونه سه‌محوری تعیین شد، ترکیب دانه‌بندی نمونه آزمایشی را می‌توان بر طبق یکی از دو روش: الف) روش مقیاس موازی^۱، ب) روش سرنده کردن^۲ تعیین کرد (شکل ۲).

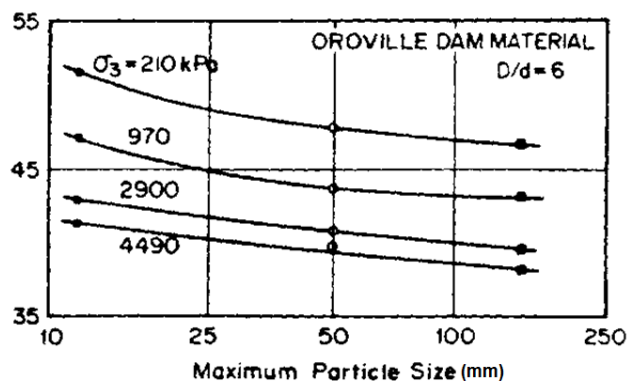


Fig. 1 Variation of ϕ versus d in triaxial test

شکل ۱ تغییرات ϕ با d در آزمایش سه‌محوری [۱۱]

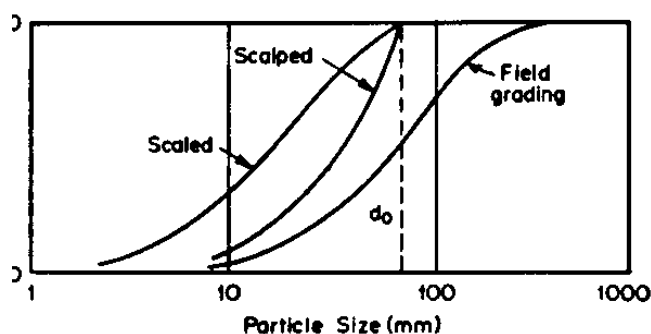


Fig. 2 Different methods for selection particle size of laboratory specimens

شکل ۲ تبدیل دانه‌بندی نمونه‌های آزمایشگاهی

روش مقیاس موازی روشی متداول و منطقی است [۱۲]. در این حالت، منحنی دانه‌بندی مصالح واقعی با یک شیفت ثابت به قسمت چپ انتقال می‌یابد؛ به‌طوری‌که حداکثر اندازه دانه‌ها به مقدار d_{max} کاهش یابد. این روش بیشتر شبیه سرنده کردن دانه‌های بزرگ و ترکیب مجدد آنها به شکل منحنی انتقال یافته است. در نتیجه بایستی به استفاده از مواد ریزدانه توجه کرد به‌طوری‌که ذرات ریزدانه آن از نظر سختی، مقاومت و شکل، همانند مصالح سنگریزه‌ای واقعی باشند [۱۳]. روش مقیاس موازی می‌تواند باعث به‌وجود آمدن عدم تناسب روی مقدار مواد ریزدانه شود. این مسأله می‌تواند بر روی مقدار ϕ و حداکثر اضافه فشار آب حفره‌ای موثر باشد [۱۴]. روش

¹ Parallel Scaling

² Scalping

حداقل ($\Delta u_{\min}$) در آزمون زهکشی نشده (UU [۱۶] و CU [۱۷]) و کرنش حجمی حداقل ($\varepsilon_{v\min}$) در آزمون زهکشی شده (CD [۱۸]) استخراج می‌شوند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود اختلاف فازی بین $\Delta u_{\min}$ و $\varepsilon_{v\min}$ از نظر میزان کرنش محوری وجود دارد. در کرنشی که $\varepsilon_{v\min}$ حداقل است، $\Delta u_{\min}$ از حداکثر کمترین مقدارش کاهش پیدا کرده و به صفر نزدیک می‌شود. وجود این اختلاف فاز، مدل‌سازی عددی دقیق منحنی رفتار مصالح تنش-کرنش در حالت CU را در صورت به‌کارگیری مفاهیم اتساع قدری مشکل می‌سازد [۱۹].

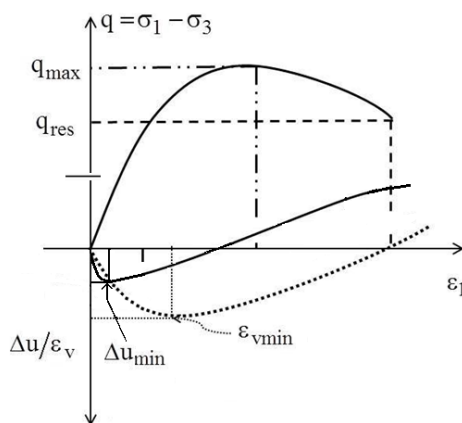


Fig. 3 Definition of maximum deviatoric stress, residual deviatoric stress, minimum excess pore water pressure, minimum volumetric stress for specimen under low confining pressure [14]

شکل ۳ تعاریف مربوط به تنش تفاضلی حداکثر، تنش تفاضلی باقی‌مانده، اضافه فشار آب حفره‌ای حداقل و کرنش حجمی حداقل برای نمونه تحت تنش‌های محدودکننده کم [۱۴]

۳- اثر دانه‌بندی بر منحنی مسیر تنش

اندازه دانه‌ها و نحوه توزیع دانه‌ها در ساختار خاک بر رفتار مکانیکی مصالح خاکی و سنگریزه‌ای بسیار موثر است. مشخصات دانه‌بندی خاک به کمک شاخص‌هایی، مانند: حداکثر اندازه دانه‌ها، ضریب یکنواختی، درصد ریزدانه و یا نسبت ذرات ریز (ماسه و سیلت) به ذرات درشت (شن) قابل تعریف است. در شکل ۴ مسیر تنش برای دو نوع خاک درشت‌دانه و ریزدانه تحت آزمون CU ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود افزایش ذرات ریزدانه در خاک به شدت می‌تواند مسیر تنش را تحت تاثیر قرار دهد.

۴- اثر دانه‌بندی بر نسبت تغییرات تنش تفاضلی حداکثر به تنش محدودکننده

یکی از پارامترهایی که به شدت تحت تاثیر میزان درصد ریزدانه مصالح خاکی قرار دارد، نسبت تنش تفاضلی به تنش محدودکننده (q/σ'_3) است. در شکل ۵ روند تغییرات q/σ'_3 در برابر تنش محدودکننده برای نتایج آزمون

مقیاس موازی می‌تواند به کاهش توان زهکشی مصالح سنگریزه منجر شود. این مسأله هنگامی که از نمونه‌های سه‌محوری قطر بزرگ استفاده می‌شود، اهمیت بیشتری دارد.

روش دیگر ترکیب دانه‌بندی نمونه‌های آزمایشگاهی استفاده از روش سرند کردن است [۱۵]. در این روش همه دانه‌ها با قطر بزرگتر از $d_{\max}$ از مخلوط نمونه جدا می‌شوند. درصد عبوری هر یک از اندازه‌های کوچکتر از $d_{\max}$ بعداً با یک ضریب ثابت شیفت داده می‌شود. در این روش نمونه سرند شده، باید نماینده مصالح سنگریزه‌ای محل باشد، در غیر این صورت باید نمونه آزمایشگاهی به وسیله شکستن و خردکردن سنگ‌های بزرگ تهیه شود. در این روش اگر با مشکل زهکشی روبرو شویم، ممکن است به سرند کردن ریزدانه‌های انتهای پایین منحنی دانه‌بندی تبدیل شده نیاز باشد.

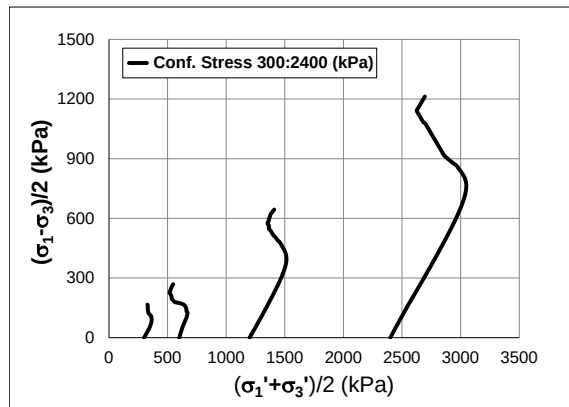
انتخاب روش تبدیل منحنی دانه‌بندی بستگی به نوع سنگ و دانه‌بندی آن در محل دارد. برای سنگ‌های سخت و دانه‌بندی‌های باریک مثل بازالت‌های خرد شده، Marachi و همکاران [۱۱] روش مقیاس موازی را انتخاب کردند. برای دانه‌بندی‌های عریض‌تر با مقدار بیشتر ریزدانه، روش سرند کردن ممکن است برای اجتناب از مشکل ریزدانه مناسب‌تر باشد. برای سنگ‌های نرم که دانه‌های آن در طول تراکم خرد می‌شود، روش مقیاس موازی ممکن است اهمیت کمتری داشته باشد. براساس تجربیات موجود در سدهای سنگریزه‌ای کشور، اکثراً از روش سرند کردن برای ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی استفاده می‌شود. از طرفی درصد گذشته از الک نمره ۰/۲ mm اثر زیادی بر زمان اشباع‌سازی نمونه‌ها دارد. بر اساس تجربیات در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی زمان اشباع‌سازی ($B_{value} > 95\%$) نمونه‌های قطر بزرگ (۳۰ cm) بسیار متراکم بدون گذشته از الک نمره ۰/۲ mm کمتر از ۴ روز و نمونه با گذشته از الک ۰/۲ mm بیش از ۰ تا ۱۲٪ حدود ۴ تا ۱۲ روز و برای نمونه‌های با ۲۲٪ گذشته از الک ۰/۲ mm زمان اشباع از ۱۲ تا ۳۵ روز متغیر است. اثرهای تنش محدودکننده به‌خصوص تنش‌های بالا اثرهای ویژه‌ای بر رفتار مصالح تحت بارگذاری‌های زهکشی شده و زهکشی نشده دارد. با توجه به تنوع مصالح بررسی شده در این تحقیق ارائه نتایج حاصل به‌خصوص در تنش‌های محدودکننده بالا می‌تواند در طراحی صحیح آزمایش‌های سه‌محوری بسیار کمک‌کننده باشد. شایان ذکر است که این مقاله روند تقریبی رفتار مونوتونیک مصالح بر اساس برازش بر داده‌های واقعی ارائه می‌شود.

۲- تعاریف مربوط به استخراج پارامترهای مقاومتی از آزمایش‌های سه‌محوری مونوتونیک

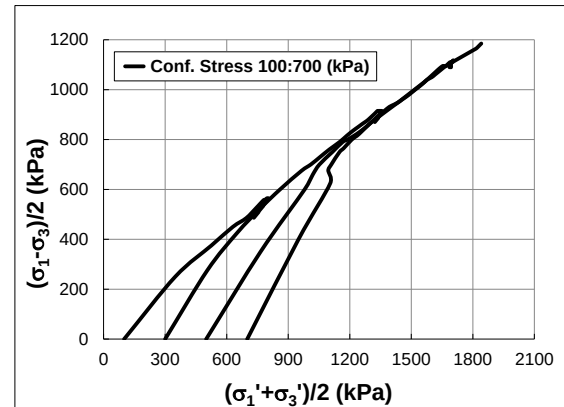
به منظور تفسیر نتایج آزمون‌های سه‌محوری، لازم است منحنی تغییرات تنش تفاضلی-کرنش محوری ترسیم شوند. مقادیر تنش تفاضلی در محور قائم و مقادیر کرنش نظیر در محور افقی پیاده می‌شوند. بر حسب معیار گسیختگی تعریف شده، مقادیر تنش تفاضلی گسیختگی و مقدار کرنش نظیر تعیین می‌شود. در آزمون‌های زهکشی نشده در صورت اندازه‌گیری مقدار اضافه فشار آب حفره‌ای، منحنی تغییرات اضافه فشار آب حفره‌ای-کرنش نیز قابل ترسیم است و در آزمون‌های زهکشی شده بر اساس تغییرات حجم آب محفظه منحنی تغییرات کرنش حجمی-کرنش نیز قابل ترسیم است (شکل ۳). پارامترهای مقاومت برشی خاک معمولاً در مقادیر تنش تفاضلی حداکثر ($q_{\max}$)، تنش تفاضلی باقی‌مانده (q_{res}) و اضافه فشار آب حفره‌ای

همچنین، برای نمونه‌های شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm بیش از ۲۲٪، حداکثر و حداقل مقدار q/σ'_3 به ترتیب حدود ۳ و حتی کمتر از ۱ است. ضروری است این نسبت در انتخاب دامنه بارهای سیکلی SR آزمون‌های سیکلی مقاومتی (ASTM D 5311 [۲۰]) و دینامیکی (ASTM D 3999 [۲۱]) برای مصالح خاکی ریزدانه، مورد توجه قرار گیرد.

CU نشان داده شده است [۱۴]. نسبت تنش تفاضلی به تنش محدودکننده (q/σ'_3) در تعیین ظرفیت لودسل مورد نیاز در دستگاه سه محوری عامل تعیین‌کننده است. مثلاً برای نمونه‌های شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm کمتر از ۱۲٪، حداقل مقدار q/σ'_3 برابر با ۳ است. لذا برای تنش همه جانبه ۱/۵ MPa و نمونه با قطر ۳۰ cm ظرفیت لودسل باید بیش از ۴۲ تن باشد که غالباً ۵۰ تن انتخاب می‌شود.



b) Fine grained soil material



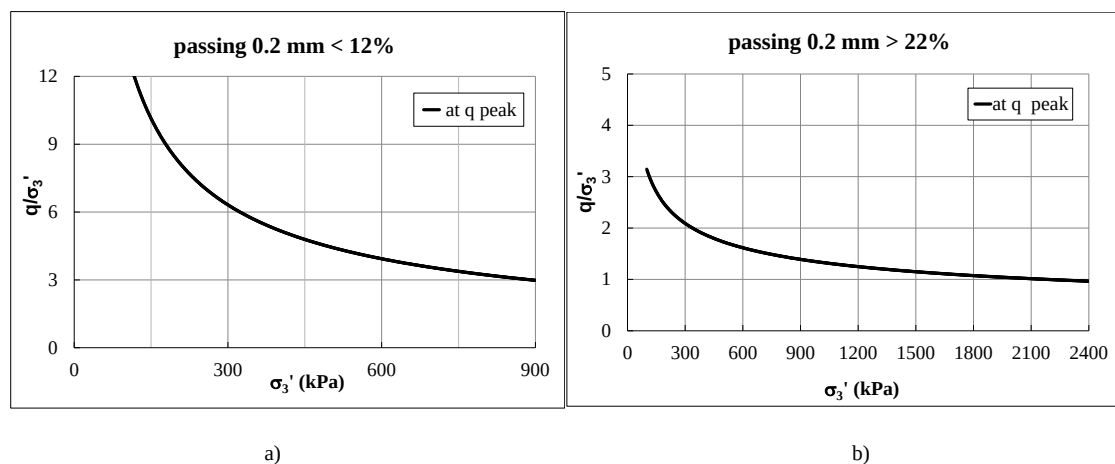
a) Coarse grained soil material

(ب) مصالح خاکی ریزدانه

(الف) مصالح خاکی درشت دانه

Fig. 4 Stress path curves for material under CU test, [14]

شکل ۴ منحنی مسیر تنش مصالح تحت آزمون CU، (الف) مصالح خاکی درشت دانه، (ب) مصالح خاکی ریزدانه [۱۴]



a)

b)

Fig. 5 Variation of q/σ'_3 versus confining pressure under CU test, (a) coarse grain soil material, (b) Fine grain soil materials

شکل ۵ تغییرات q/σ'_3 در برابر تنش محدودکننده برای نتایج آزمون CU، (a) مصالح خاکی درشت دانه، (b) مصالح خاکی ریزدانه

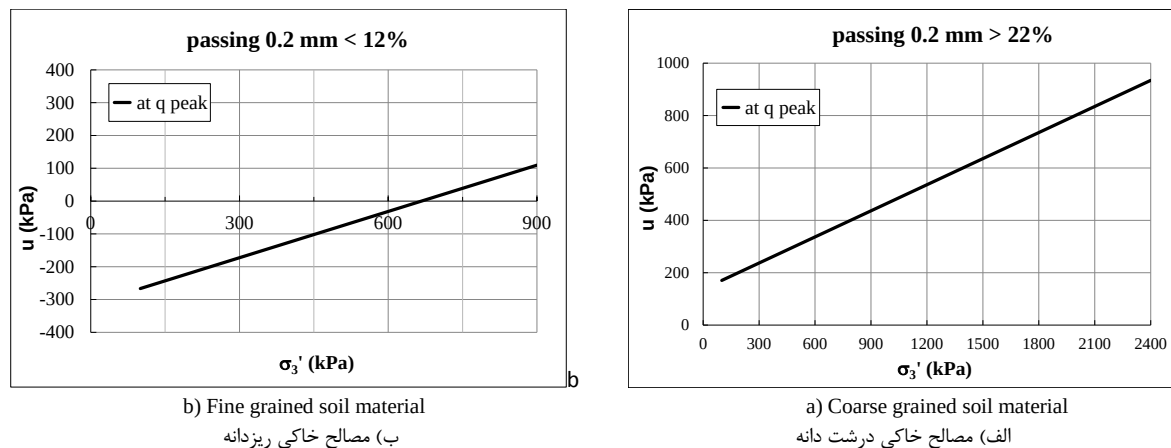


Fig. 6 Variation of excess pore water pressure versus confining pressure under CU test, [14]

شکل ۶ تغییرات اضافه فشار آب حفره‌ای در برابر تنش محدودکننده برای نتایج آزمون CU، الف) مصالح خاکی درشت دانه، ب) مصالح خاکی ریزدانه [۱۴]

محوری تحت آزمایش سیکلی مقاومتی مشاهده شده است که در آن نمونه‌ها، نسبت اضافه فشار آب حفره‌ای لحظه گسیختگی کمتر از واحد است [۲۲]. ایده بالا از طریق تاریخچه اضافه فشار آب حفره‌ای، تنش کل و نسبت تنش افقی با استفاده از نتایج ابزار دقیق سد بلند سنگریزه‌ای مسجسلیمان^۲ (MES) در هنگام ساخت و اولین آگیری قابل راستی‌آزمایی است [۲۳]. مصالح هسته این سد بلند سنگریزه‌ای حالت خرابی را در تراز ۳۱۰ از سطح دریا (EL. 310 masl) و کمتر تجربه کرد. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که به طور کلی مقادیر ru تقریباً به بزرگی Pv/yh است که اندکی کوچکتر از Ph/yh ، و حداکثر مقدار ru برابر با ۰/۸۸ است. همچنین، ru از ۰/۳۲ (در شش ۲۶۰ CH. 260) و تراز ۳۱۰ متر از سطح دریا (EL. 310 masl) به حدود ۰/۷ (در CH. 260 و El. 230 masl) افزایش می‌یابد [۲۴].

۶- اثر دانه‌بندی بر تغییرات زاویه اصطکاک تنش کل و تنش موثر

شکل‌های ۷ و ۸ تغییرات زاویه اصطکاک در برابر تنش محدودکننده در کرنش نظیر تنش تفاضلی حداکثر به ترتیب برای شرایط تنش کل و تنش موثر نتایج آزمون CU را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۷ الف زاویه اصطکاک نمونه‌های شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm کمتر از ۱۲٪، تقریباً ۲ برابر مقادیر نظیر نمونه با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm بیش از ۲۲٪ است.

حداکثر مقدار زاویه اصطکاک تنش کل نمونه شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm زیر ۱۲٪ برای تنش محدودکننده زیر ۲۰۰ kPa بیش از ۶۰ درجه و برای تنش محدودکننده ۹۰۰ kPa حدود ۳۵ درجه است. مطابق شکل ۸ دامنه تغییرات زاویه اصطکاک زهکشی شده نمونه شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm زیر ۱۲٪ بین ۴۵-۴۰ درجه است. دامنه تغییرات زاویه اصطکاک زهکشی شده نمونه شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm بیش از ۲۴٪ بین ۴۵-۳۰ درجه است که بیشتر از مقادیر نظیر

لذا به نظر می‌رسد که در مصالح شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm کمتر از ۱۲٪، امکان اعمال غیرهمسانی تنشی اولیه (σ'_1/σ'_3) بیش از ۲ در همه حال ممکن است، در صورتی که برای مصالح شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm بیش از ۲۲٪، اعمال غیرهمسانی بیش از ۲ سبب گسیختگی نمونه شده و امکان بارگذاری سیکلی بعدی برای آزمایش‌ها طبق استانداردهای [۲۱ و ۲۰] ممکن نیست. معمولاً نسبت تنش سیکلی^۱ SR [۲۱ و ۲۰] باید کمتر از نصف تنش محدودکننده باشد، اما در مصالح شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm بیش از ۲۲٪، در صورت اعمال با توجه به مقاومت نهایی ($1 < q/\sigma'_3 < 0.7$) [۲۲]، تنش سیکلی SR بین عددی بین ۰/۳۳ تا ۰/۴۵ انتخاب شود. مثلاً برای $q/\sigma'_3 = 0.7$ در حالت گسیختگی بدون اعمال هرگونه غیرهمسانی تنشی، SR باید حداکثر ۰/۳۳ انتخاب شود و گر نه اعمال تنش سیکلی بیش از مقدار ذکر شده به سبب ایجاد تغییرشکل‌های زیاد باعث می‌شود که کنترل دامنه تنش‌ها در آزمایش‌های کنترل تنش ممکن نباشد.

۵- اثر دانه‌بندی بر تغییرات اضافه فشار آب در برابر تنش محدودکننده

شکل ۶ تغییرات اضافه فشار آب حفره‌ای (U_{max}) برای کرنش نظیر حداکثر تنش انحرافی (Q_{peak}) در برابر تنش محدودکننده برای نتایج آزمون CU را نشان می‌دهد. از نکات جالب برای نمونه‌های شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm کمتر از ۱۲٪، ایجاد اضافه فشار آب حفره‌ای منفی و سپس اضافه فشار آب حفره‌ای مثبت است. برای نمونه‌های شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm بیش از ۲۲٪، اضافه فشار آب حفره‌ای همواره مثبت و نسبت U_{max}/σ'_3 عددی کمتر از ۱ بوده و با افزایش تنش محدودکننده مقدار آن کاهش می‌یابد. رفتار مشابهی از نظر میزان حداکثر اضافه فشار آب حفره‌ای در نمونه‌های سه

^۲ Masjed-E-Soleyman

^۱ Cyclic Stress Ratio

مقادیر نظیر حالت تنش کل و در تنش محدودکننده بیش از 7 kg/cm^2 روند برعکس است. شایان ذکر است که در بیشتر مصالح گردگوشه بعد از تنش محدودکننده 7 kg/cm^2 دچار شکست دانه‌ای قابل ملاحظه‌ای می‌شوند.

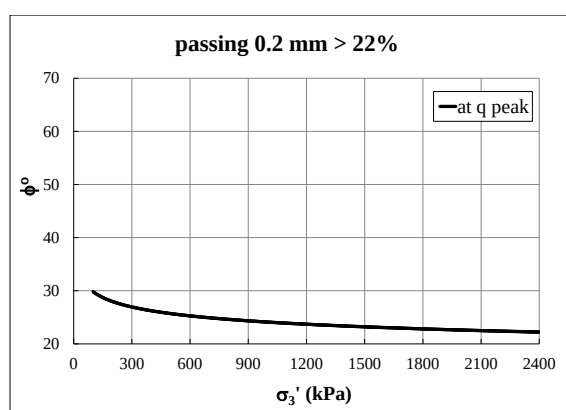
زاویه اصطکاک تنش کل است. لذا انتخاب شرایط آزمایش و تحلیل نتایج باید با توجه به شرایط بهره‌برداری خاکریز مهندسی انتخاب شود. برای مصالح شندار با درصد گذشته از الک 0.75 mm کمتر 12% ، زاویه اصطکاک حالت تنش موثر تا تنش محدودکننده 7 kg/cm^2 کمتر از

جدول ۱ نسبت تنش عمودی کل (P_v/γ_h)، نسبت تنش افقی کل (P_h/γ_h)، نسبت اضافه فشار آب حفره‌ای (ru) در مرکز (C/L) و پایین دست (D/L) در هسته سد سنگریزه‌ای MES [۲۳]

Table 1 Ratio of total vertical stress (P_v/γ_h), ratio of total horizontal stress (P_h/γ_h), ratio of excess pore water pressure (ru) in center line (C/L), down stream (D/L) in core of MES rockfill dam [23]

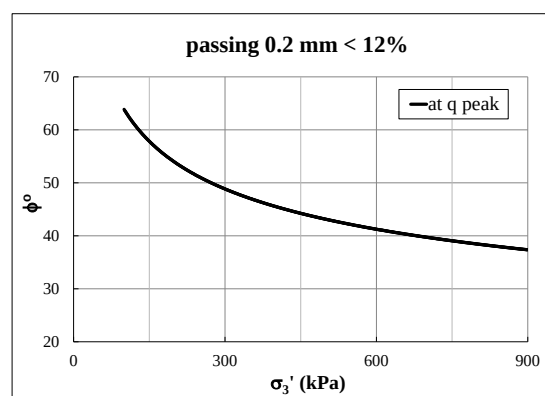
		P_v/γ_h		P_h/P_v		Ru حداکثر		ru		P_v/γ_h		P_h/P_v		ru حداکثر	
		(قبل از آگیری)		(قبل از آگیری)		(قبل از آگیری)		(قبل از آگیری)		(بعد از آگیری)		(بعد از آگیری)		(بعد از آگیری)	
CH (m)	EL (masl)	Core (C/L)	Core (D/L)	Core (C/L)	Core (D/L)	Core (C/L)	Core (D/L)	Core (C/L)	Core (D/L)	Core (C/L)	Core (D/L)	Core (C/L)	Core (D/L)	Core (C/L)	Core (D/L)
160	280	0.67	0.66	0.967	0.992	0.81	0.78	0.61	0.62	0.71	0.72	0.97	0.95	0.64	0.67
160	310		0.59		0.749		0.44		0.36		0.61		0.89		0.43
260	230	0.68	0.78	1.035	0.849	0.83	0.82	0.65	0.7	0.71	0.79	1.03	0.85	0.68	0.73
260	270	0.6	0.65	0.913	0.971	0.88	0.86	0.59	0.63	0.66	0.69	0.91	0.94	0.63	0.68
260	310		0.46				0.4		0.32		0.53				0.4
360	280	0.65	0.66	0.99	0.885	0.84	0.83	0.56	0.59	0.65	0.69	0.96	0.9	0.61	0.63
360	310		0.6		0.646		0.49		0.41		0.65		0.65		0.47
430	310		0.62		0.635		0.38		0.34		0.64		0.61		0.36

توضیحات: CH: شناژ، EL: تراز ارتفاعی، masl: تراز آب بالای سطح دریا، h: ارتفاع بالاسری، P_v : تنش عمودی کل اندازه‌گیری شده، P_h : تنش افقی کل اندازه‌گیری شده، P_v/γ_h : نسبت تنش عمودی کل، ru : نسبت فشار آب حفره‌ای (نسبت فشار آب اندازه‌گیری شده به γ ، وزن واحد



b) Fine grained Soil material

(ب) مصالح خاکی ریزدانه

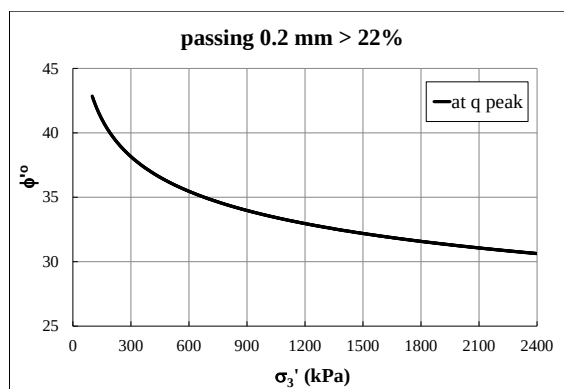


a) Coarse grained soil material

(الف) مصالح خاکی درشت دانه

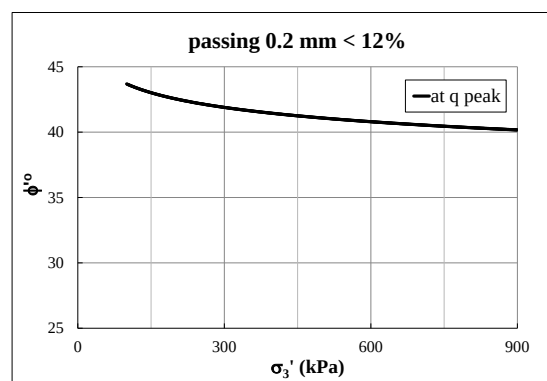
Fig. 7 Variation of friction angle (for total stress condition) versus confining pressure under CU test, (a) coarse grain soil material, (b) fine grain soil materials [14]

شکل ۷ تغییرات زاویه اصطکاک (تنش کل) در برابر تنش محدودکننده برای نتایج آزمون CU (الف) مصالح خاکی درشت دانه، (ب) مصالح خاکی ریزدانه [۱۴]



b) Fine grained soil material

(ب) مصالح خاکی ریزدانه



a) Coarse grained soil material

(الف) مصالح خاکی درشت دانه

Fig. 8 Variation of friction angle (for effective stress) versus confining pressure under CU test, (a) coarse grain soil material, (b) fine grain soil materials [14]

شکل ۸ تغییرات زاویه اصطکاک (تنش موثر) در برابر تنش محدودکننده برای نتایج آزمون CU (الف) مصالح خاکی درشت دانه، (ب) مصالح خاکی ریزدانه [۱۴]

۸- اثر تنش محدودکننده بر زاویه اصطکاک داخلی تحت آزمایش

CD

یکی از پارامترهای بسیار تاثیرگذار در مشخصات مکانیکی مصالح خاکی و سنگریزه‌ای محدوده تنش محدودکننده است. به طور کلی، زاویه اصطکاک داخلی مصالح سنگریزه‌ای تیز گوشه با افزایش تنش محدودکننده کاهش می‌یابد (شکل ۱۰). در مصالح گرد گوشه به علت تغییرات شدید مقاومت دانه‌ها، افزایش یا کاهش تنش محدودکننده منجر به بروز روند واحدی در تغییرات زاویه اصطکاک داخلی نمی‌شود [۲].

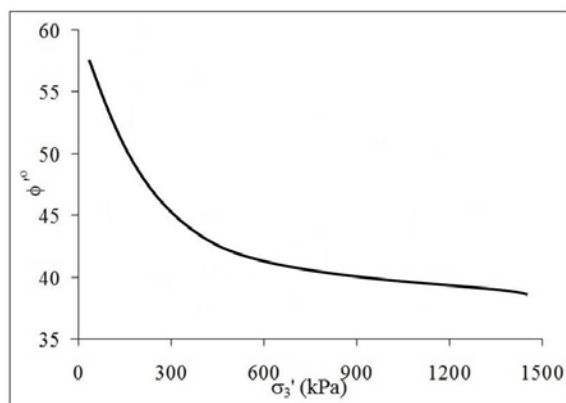


Fig. 10 Variation of friction angle versus confining pressure in blasted rockfill materials under CD condition

شکل ۱۰ تغییرات زاویه اصطکاک داخلی با تنش همه جانبه در مصالح سنگریزه‌ای تیز گوشه تحت آزمایش CD

۹- اثر تنش محدودکننده بر کرنش حجمی

نتایج آزمون‌های سه محوری بزرگ مقیاس انجام شده بر روی مصالح تیز گوشه و گرد گوشه کنگلومرایی مورد استفاده در پوسته سد مسجد سلیمان نشان می‌دهد، در هر دو رده مصالح، میزان کرنش محوری گسیختگی و تغییر حجم نمونه در زمان گسیختگی متأثر از میزان تنش محدودکننده اعمال شده به نمونه است [۲]. بر اساس نتایج حاصل، با افزایش تنش محدودکننده،

۷- شکل و اندازه ذرات

یکی از پارامترهای تاثیرگذار در مقاومت شکست ذرات علاوه بر نوع ترکیبات معدنی، اندازه و شکل دانه‌هاست. بر اساس نتایج مطالعات انجام شده [۲۵]، شکست ذرات در زمان اعمال تنش محدودکننده و تنش تفاضلی در خاک‌های با ذرات درشت و تیز گوشه به دلیل افزایش تمرکز تنش بالاتر است. همچنین، اندازه دانه‌ها اثر مهمی بر مقادیر زاویه اصطکاک هر دو مصالح تیز گوشه (انفجاری) و گرد گوشه (رودخانه‌ای) دارد [۲۵، ۲۶ و ۲۷]. معمولاً زاویه اصطکاک مصالح سنگریزه‌ای تیز گوشه و گرد گوشه تحت یک تنش با افزایش اندازه دانه‌ها به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. اما این مورد برای مصالح سنگریزه‌ای تیز گوشه کنگلومرایی با سیمانی شدن ضعیف صادق نیست و زاویه اصطکاک با افزایش حداکثر اندازه دانه از ۳۰ mm به ۱۴۰ mm مقادیر زاویه اصطکاک افزایش می‌یابد [۳]. با افزایش تنش محدودکننده، مقادیر زاویه اصطکاک مصالح با حداکثر اندازه دانه متفاوت به هم نزدیک می‌شود. شکل ۹ اثر اندازه دانه بر تغییرات زاویه اصطکاک مصالح کنگلومرایی در برابر تنش محدودکننده را نشان می‌دهد. براساس نتایج، با افزایش اندازه دانه‌ها، زاویه اصطکاک کاهش می‌یابد.

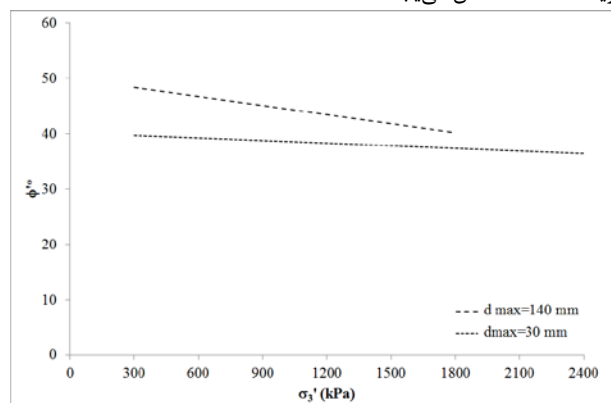


Fig. 9 Effect of particle size on friction angle of conglomerate materials versus confining pressure

شکل ۹ اثر اندازه دانه روی تغییرات زاویه اصطکاک مصالح کنگلومرایی در برابر تنش محدودکننده

۵. براساس نتایج آزمون CU زاویه اصطکاک حالت تنش موثر در برابر تنش محدودکننده مصالح شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm بیش از ۲۲٪ بیشتر از مقادیر نظیر حالت تنش کل است. اما برای مصالح شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm کمتر ۱۲٪، زاویه اصطکاک حالت تنش موثر تا تنش محدودکننده 7 kg/cm^2 کمتر از مقادیر نظیر حالت تنش کل و در تنش محدودکننده بیش از 7 kg/cm^2 روند برعکس است.

۶. برای نمونه‌های شندار با درصد گذشته از الک ۰/۲ mm بیش از ۲۲٪، اضافه فشار آب حفره‌ای همواره مثبت و نسبت $u_{\max} / \sigma'_3$ عددی کمتر از ۱ است و با افزایش تنش محدودکننده از مقدار آن کاسته می‌شود. این رفتار در تفسیر نتایج آزمایش‌های سیکلی مقاومتی مصالح ریزدانه مفید است.

۷. حداکثر مقاومت مونوتونیک مصالح سنگریزه‌ای کنگلومرایی با تغییر اندازه دانه‌ها تا حدودی متأثر از مقاومت مصالح سیمانی شدن بین سنگدانه‌هاست و برعکس رفتار معمول مصالح سنگریزه‌ای تیز گوش، با افزایش اندازه دانه‌ها، افزایش می‌یابد.

۱۱- تشکر و قدردانی

این مقاله از پروژه تحقیقاتی "بازخوانی تجرب بیش از ۳۰۰ آزمایش استاتیکی و دینامیکی با استفاده از دستگاه سه محوری قطر بزرگ (راهنمای انجام دادن، تحلیل و مدل‌سازی)" استخراج شده است. بدین وسیله از مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی بابت حمایت مالی تشکر می‌گردد.

۱۲- منابع

- [1] REC-ERC-84-17, *Determining Dynamic Properties for Embankment Dams from Laboratory Testing*, Engineering and Research Center, U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, 1984.
- [2] A. Aghaei Araei, A. Soroush, M. H. T. Rayhani, *Testing and numerical modeling of rounded and angular rockfill materials*, Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering, 17(3), 169-183, 2010.
- [3] A. Aghaei Araei, S. Hashemi Tabatabaei, H. R. Razeghi, *Cyclic and post-cyclic monotonic behavior of crushed conglomerate rockfill material under dry and saturated conditions*, Scientia Iranica A 19 (1), 64-76, 2012.
- [4] A. Aghaei Araei, A. Soroush, S. H. Tabatabaei, A. Ghalandarzadeh, *Consolidated undrained behavior of gravelly materials*, Scientia Iranica, Trans. A., Civil Eng., 19(6), 1391-1410, 2012.
- [5] A. Tabibnejad, A. Heshmati, H. Salehzadeh, S. H. Tabatabaei, *Effect of Gradation Curve and Dry Density on Collapse Deformation Behavior of a Rockfill Material*, KSCE Journal of Civil Engineering, 19(3), 631-640, 2015.
- [6] M. K. Jafari, A. Shafiee, *Mechanical behavior of compacted composite clays*, Canadian Geotechnical Journal, 41(6), 1152-1167, 2004.
- [7] J. S. Budiman, J. Mohammadi, S. Bandi, *Effect of large inclusions on liquefaction of sands*, Static and Dynamic Properties of Gravelly Soils, Geotechnical Special Publication, No. 56, ASCE, 48-63, 1995.
- [8] N. D. Marachi, C. K. Chan, H. B. Seed, *Evaluation of properties of rockfill materials*, J. SMFE, (98), 95-114, 1972.
- [9] A. D. M. Penman, *Rockfill*, Building Research Station Paper 15-71, BRE, Garston, Watford, 1971.
- [10] J. A. Charls, K. S. Watts, *The influence of confining pressure on the shear strength of compacted rockfill*, Geotechnique, 30(4), 353-367, 1980.

میزان کرنش محوری گسیختگی افزایش می‌یابد. میزان تنش محدودکننده همچنین بر میزان کرنش حجمی نمونه نیز موثر است و با افزایش تنش محدودکننده، میزان کرنش حجمی نمونه کاهش می‌یابد (شکل ۱۱).

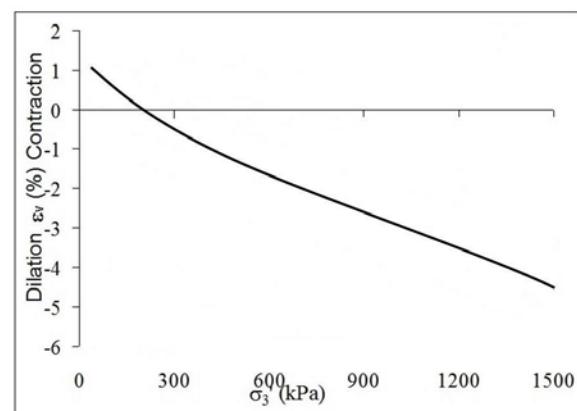


Fig. 11 Variation of volumetric strain versus confining pressure in rockfill materials under CD condition

شکل ۱۱ تغییرات کرنش حجمی با تنش همه جانبه در مصالح سنگریزه‌ای تیز گوشه تحت آزمایش CD

۱۰- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مرور نتایج و تجربیات حاصل از انجام دادن آزمایش‌های سه محوری، باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌شود. مهمترین نتایج این تحقیق به شرح زیر است:

۱. در آزمایش‌های سه محوری توصیه می‌شود که درصد گذشته از الک ۰/۲ mm با توجه اثرهای آن بر زمان لازم برای اشباع نمونه و تغییرات قابل توجه رفتار نمونه به خصوص در درصدهای بالای ۱۲٪ محدود گردد.
۲. اختلاف فازی بین میزان کرنش محوری نظیر $\Delta u_{\min}$ و $\epsilon_{v\min}$ در آزمایش‌های CU و CD وجود دارد. کرنش محوری که در آن $\epsilon_{v\min}$ حداقل است، $\Delta u_{\min}$ از حداکثر کمترین مقدارش کاهش پیدا کرده و به صفر نزدیک می‌شود.
۳. تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین مقدار q/σ'_3 مصالح تحت شرایط CU و CD و درصد گذشته از الک ۰/۲ mm کمتر از ۱۲٪ بیش از ۲۲٪ وجود دارد. به طوری که مقدار q/σ'_3 نمونه‌های با درصد عبوری از الک ۰.۲ میلی‌متر کمتر از ۱۲٪ و بیشتر از ۲۲٪ به ترتیب بیش از ۳ و کمتر از ۳ (حتی کمتر از ۱) است.
۴. در مصالح شندار با درصد گذشته از الک ۰.۲ میلی‌متر کمتر از ۱۲٪ امکان اعمال غیرهمسانی تنشی بیش از ۲ در همه حال ممکن است. اما برای نمونه‌های شندار با درصد گذشته از الک ۰.۲ میلی‌متر بیش از ۲۲٪، درصد اعمال غیرهمسانی بیش از ۲ سبب گسیختگی نمونه شده و امکان بارگذاری سیکل بعدی حتی با $SR = \pm 0.4$ طبق استاندارد [۲۰ و ۲۱] ممکن نیست.

- [11] N. D. Marachi, C. K. Chan, H. B. Seed, J. M. Duncan, "Strength and Deformation Characteristics of Rockfill Materials", Report TE-69-5, University of California, Berkeley, USA, 1969.
- [12] E. Fumagalli, *Tests on cohesionless materials for rockfill dams*, J. SMFE, ASCE, 95, SM1, 313-332, 1969.
- [13] E. Fumigalli, B. Mosconi, *Laboratory tests on material and static models for rockfill dams*, Proceedings of 10th International Congress on Large Dams, Montreal, 1, 531-551, 1970.
- [14] A. Aghaei Araei, F. Kalantari, A. Ghalandarzadeh, H. Shahnazari, N. Attarchian, I. Rahmani, Guidelines for test, analysis and numerical modeling of monotonic and dynamic triaxial tests using the large scale apparatus (overview of achieved experiments from 300 tests), Research report, Road, Housing and Urban Development Research Center, 1396. (in Persian فارسی)
- [15] J. Zeller, R. Wullimann, The Shear Strength of the Shell Materials for the Geschenenalp Dam, Switzerland, Proc. 4th Inst., J. SMFE, London, 2, 399, 1957.
- [16] ASTM 2850-15, Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils, 2015.
- [17] ASTM 4767-11, "Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils", 2011.
- [18] ASTM 7181-11, Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils, 2011.
- [19] A. Aghaei Araei, A. Soroush, S. Hashemi Tabatabaei, A. Ghalandarzadeh, Assessment of triaxial monotonic behavior of the gravelly material, Research report, Road, Housing and Urban Development Research Center, 1391. (in Persian فارسی)
- [20] ASTM D5311-13, "Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength of Soil", 2013.
- [21] ASTM D3999-96, "Standard Test Methods for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils Using the Cyclic Triaxial Apparatus", Reapproved, 2006.
- [22] A. Aghaei Araei, S. Hashemi Tabatabaei, A. R. Ghodrati Ghazaani, A. S. Salamat, H. Hassani, B. Katebi, Assessment of the cyclic behaviour of the gravelly soils with high Compacted, Research report Road, Housing and Urban Development Research Center, 1395. (in Persian فارسی)
- [23] A. Aghaei Araei, Back analysis of deformations induced during first impounding of Masjed-e-Soleyman dam, MSc Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, 2002.
- [24] A. Soroush, A. Aghaei Araei, *Analyses behavior of high rockfill dam*, Geotechnical Engineering Journal, Proceedings of ICE, 159, 49-59, 2006.
- [25] A. Varadarajan, K. G. Sharma, K. Venkatachalam, A. K. Gupta, *Testing and modeling two rockfill materials*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 129(3), 206-218, 2003.
- [26] A. Varadarajan, K. G. Sharma, S. M. Abbas, A. K. Dhawan, The role of nature of particles on the behavior of rockfill materials, Soils and Foundations, 46(5), 569-584, 2006.
- [27] A. Aghaei Araei, A. Soroush, S. Hashemi Tabatabaei, A. Ghalandarzadeh, Assessment of particle breakage of rockfill materials using triaxial tests, Journal of Geological Engineering, 2(5), 1216-1193, 1390. (in Persian فارسی)



ارزیابی تأثیرات عوامل محیطی بر کاهش استرس، اضطراب و افسردگی بیماران در مراکز درمانی (نمونه مطالعاتی: بیمارستان شهید مصطفی خمینی (ره) شهر ایلام)

عطاءالله یاری کیا^۱، عبدالرحمن دیناروند^{۲*}، بهزاد وثیق^۳

۱. کارشناسی ارشد، معماری، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول

۲. استادیار، معماری، دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

۳. عضو هیأت علمی، معماری، دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

* صندوق پستی ۶۴۶۱۵-۳۳۴، dinarvand@jsu.ac.ir

چکیده

در رویکرد روانشناسی زیست‌شناختی، رفتار، نتیجه رویدادهای شیمیایی و زیست‌شناختی درون مغز است. هدف این رویکرد، شناخت فرایندهای عصبی-زیستی در راستای مطالعه رفتار انسان در درون محیط ساخته‌شده است. در این میان، تأثیر فضاهای انسان‌ساخت، مانند: معماری، یکی از حوزه‌های تحقیقاتی این علم است. در این تحقیقات، فضای معماری به عنوان یک قرارگاه فیزیکی، قلمداد می‌شود و اثر عوامل فیزیکی، مانند: ابعاد فضا، رنگ، نور روز، مناظر طبیعی، جریان هوا و سایر مؤلفه‌های شکل‌دهنده فضا بر فرایندهای زیست‌شناختی افراد پیمایش می‌گردد. هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیرات عوامل هواشناسی محیطی بر سلامت بیماران و نیز تأثیرات آن بر کاهش طول اقامت آنان در مراکز درمانی است. تغییرات در عواملی مانند نور طبیعی، جریان هوا و مجاورت با منظر طبیعی می‌تواند باعث اختلالات رفتاری گردد. در این مقاله سعی شده است میزان تأثیراتی که این عوامل بر کاهش استرس، اضطراب و افسردگی بیماران بستری دارد؛ مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. در این راستا به روش علی-مقایسه‌ای و با استفاده از پرسش‌نامه‌ی DASS-21، به ارزیابی این عوامل می‌پردازد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که عوامل هواشناسی محیطی، مانند: نور روز، جریان هوای تازه و منظر طبیعی به واسطه اثری که بر حالت‌های رفتاری انسان دارد بر کاهش افسردگی، اضطراب و استرس بیماران بستری تأثیرگذار است و می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود بیماران داشته باشد.

کلیدواژگان

عوامل محیطی، استرس، اضطراب، افسردگی، مرکز درمانی

Evaluation of the Effects of Environmental Factors on Reducing the Stress, Anxiety and Depression of Patients in Therapeutic Centers (Case Study: Shahid Mostafa Khomeini Hospital, Ilam)

Ataollah Yari Kia¹, Abdolrahman Dinarvand^{2*}, Behzad Vasiq³

1. M.Sc. Student, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

2. Assistant Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

3. Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

* P.O. Box 64615-334, Dezful, Iran, dinarvand@jsu.ac.ir

Abstract

In the bio-psychological approach, behavior is the result of chemical and biological events within the brain. The approach is aimed to understand the neuro-biological processes in order to study the human behavior within a built environment. In the meantime, one of the research areas of this science is the impact of man-made spaces such as architecture. In the research, architectural space is considered as a physical setting, and the impacts of physical factors such as the dimensions of space, color, daylight, natural landscapes, airflow, and other space-forming components on the biological processes of individuals are investigated. The purpose of the present study is to investigate the impacts of environmental factors on the health of patients as well as on reducing their recovery time in therapeutic centers. Changes in factors such as natural light, airflow, and natural landscape can cause the behavioral disorders. The paper attempts to investigate the impacts of these factors on reducing the stress, anxiety and depression in hospitalized patients. In this regard, causal-comparative method and DASS-21 questionnaire were used to evaluate these factors. The results reveal that environmental factors such as daylight, fresh air flow and natural landscape are effective in reducing the depression, anxiety and stress of hospitalized patients, because of their impacts on behavioral states of human and can have a significant impact on the improvement of patients.

Keywords

Environmental Factors, Stress, Anxiety, Depression, Therapeutic Center

۱- مقدمه

(۱۹۸۴)، نسیمت (۱۹۹۵)، بئاتریس و همکاران (۱۹۹۸) و دیگران بر این

عقیده هستند که عوامل فیزیکی و طبیعی شامل دما، نور طبیعی، جریان هوا، عناصر طبیعی، کنترل سروصدا و تراکم افراد و بیماران در محیط‌های درمانی

اثر عوامل فیزیکی و طبیعی بر ذهن و شادابی روحی انسان در محیط‌های بسته به نحوه استفاده از عوامل طبیعی برمی‌گردد. پژوهشگرانی نظیر تاپف

۲-۱- تأثیر نور طبیعی بر سلامتی

روشنایی روز یکی از مهم‌ترین عناصر محیطی تأثیرگذار بر فیزیولوژی بدن انسان است. به‌طوری‌که نور روز علاوه بر نقش و اهمیتی که در حفظ و بهبود چرخه حیاتی انسان ایفا می‌کند؛ اثر درمانی ویژه‌ای بر بعضی از بیماری‌های جسمی و روانی داشته و می‌تواند تا حد زیادی در درمان بیماران مؤثر واقع شود. از جمله تحقیقات در این زمینه، می‌توان به پژوهش دیلویی و کرایج (۲۰۰۲) اشاره کرد که معتقدند نورپردازی به دو طریق مستقیم و غیرمستقیم بر افراد تأثیر می‌گذارد: «تأثیر مستقیم نور ناشی از ایجاد تغییرات در کیفیت دید و از طریق تغییر محرک‌های سیستم بینایی یا تغییر شرایط کارکرد سیستم بینایی است. درحالی‌که اثر غیرمستقیم آن، حاصل قابلیت نور در جلب توجه، تغییر انگیزش، حالت، رفتار و اصلاح تعادل هورمونی بدن انسان است» [۶]. همچنین پژوهش بیوجمین و هایز (۱۹۹۸) نشان داد که قرار گرفتن در معرض نور طبیعی در کاهش طول اقامت بیماران مبتلا به افسردگی مؤثر است. مطالعه تجربی در مورد بیماران مبتلا به آنفراکتوس میوکارد در واحد مراقبت‌های ویژه قلبی تحت درمان در دو اتاق آفتاب‌گیر و اتاق‌های کم‌نور، نشان داد که در اتاق‌های آفتاب‌گیر بیماران در زمان کوتاه‌تری نسبت به اتاق‌های کم‌نور، مرخص می‌شوند [۷]. علاوه بر این، یک مطالعه تجربی که مقایسه اثر نور صبح و بعدازظهر را در درمان مبتلایان به افسردگی در زمستان مورد بررسی قرار داده بود؛ نشان داد که نور صبح روز مؤثرتر از نور بعدازظهر در درمان اختلال افسردگی فصلی است [۸]. در این راستا بندتی و همکاران (۲۰۰۱) دریافتند که مدت حضور بیماران افسرده و دوقطبی در بیمارستان در اتاق‌های رو به شرق، که در معرض نور صبح هستند؛ در مقایسه با بیمارانی که در قسمت رو به غرب بستری هستند؛ به‌طور متوسط ۳۶۷ روز کمتر طول می‌کشد. این مورد در کاهش بروز افسردگی در سایر بیماران بستری هم صدق می‌کند [۹]. بنابراین، می‌توان گفت که در زمینه درمان افسردگی با نور روز می‌توان نوردرمانی را به‌عنوان بهترین گزینه درمان بسیاری از اختلالات خواب، افسردگی، کاهش استرس و اضطراب برشمرد. به‌طوری‌که امروزه نوردرمانی به‌عنوان یکی از روش‌های رایج درمانی برای افسردگی و اختلالات خلقی شناخته می‌شود [۱۰]. نورپردازی مناسب، احساس آسایش و امنیت ایجاد می‌کند [۱۱]. نور کافی می‌تواند باعث تقویت روحیه افراد شود. درحالی‌که کمبود نور در فضا تأثیر منفی بر روحیه افراد دارد. نورپردازی خوب نیازهای انسان را برآورده و خاطر او را آسوده می‌سازد [۱۱]. نور روز سطح بالایی از طیف‌های نوری را فراهم می‌کند که با تأثیر بر بیماران از بروز افسردگی و خواب‌آلودگی و نامنظم شدن ریتم شبانه‌روزی بدن در طول دوره حضور در بیمارستان جلوگیری می‌کند [۱۲]. قرار گرفتن در معرض نور می‌تواند باعث تغییر ریتم شبانه‌روزی و کاهش ترشح ملاتونین در انسان‌ها و تنظیم ضربان قلب در طول شبانه‌روز شود [۱۳]. چراکه نور روز با برخورد به شبکیه چشم و تأثیر بر غده هیپوتالاموس و کنترل ترشح هورمون ملاتونین (که هورمونی خواب‌آور است) باعث کنترل ریتم شبانه‌روزی بدن می‌شود [۱۴]. همچنین نوردرمانی بر وضعیت روحی، خواب و فعالیت محور هیپوتالاموس-هیپوفیز-آدرنال در بیماران مبتلا به افسردگی تأثیر مثبت دارد [۱۵-۱۷].

۲-۲- تأثیر جریان هوای تازه بر سلامتی افراد

هوا ساعت‌به‌ساعت حرکت و اندازه‌ی آن با تغییرات جوی تغییر می‌کند که ویژگی‌های بسیار مهم هواست [۱۸]. مطالعات انجام‌شده نشان داده‌اند که حد، میزان و جایی که هوا در آن محدود می‌شود از نظر سلامتی مهم است.

می‌تواند در کاهش استرس، اضطراب و افسردگی و در نهایت، بهبودی بیماران در محیط‌های درمانی تأثیر بسزایی داشته باشد. علاوه بر این سازمان معماری و محیط زیست انگلستان (CABE) به منظور ایجاد محیط درمانی در جهت ارتقای بهبودی بیماران، اهدافی شامل: کنترل سروصدا، کیفیت هوا، آسایش حرارتی، روشنایی، ارتباطات، رنگ، بافت، حفظ حریم خصوصی و نورپردازی مناسب را مؤثر می‌داند [۱].

این پژوهش با هدف بررسی تأثیرات عوامل محیطی در ارتقای سلامتی بیماران در محیط‌های درمانی با این فرضیه که بین عوامل محیطی و استرس، اضطراب و افسردگی بیماران رابطه معناداری وجود دارد و با روش علی-مقایسه‌ای و آزمون t دو نمونه مستقل، به بررسی تأثیر این عوامل در بیمارستان شهید مصطفی خمینی (ره) شهر ایلام می‌پردازد.

براساس فرضیه تحقیق، مبنی بر وجود رابطه میان عوامل محیطی با میزان استرس، اضطراب و افسردگی بیماران بستری در بیمارستان، پرسش‌نامه استاندارد شده DASS-۲۱ بر روی ۴۳ نفر از بیماران بستری در بیمارستان شهید مصطفی خمینی (ره) شهر ایلام، در دو گروه ۲۳ و ۲۰ نفری که در گروه اول بیمارانی که در اتاق‌های شرقی و رو به فضای سبز تپه مجاور بیمارستان مستقر بوده و در گروه دوم بیمارانی که در اتاق‌های روبه‌روی آنها که فاقد دسترسی به نور، فضای سبز و هوای تازه بوده‌اند؛ انجام شد. اتاق‌های شرقی بیمارستان دارای دید مناسب به پارک طبیعی تپه شاهد هستند. این پارک تپه‌ای طبیعی و بسیار بزرگ است؛ که پوشش گیاهی و نیز جریان سیال هوای طبیعی موجود در آن فضای مناسبی را برای بیماران فراهم می‌آورد. این در حالی است که اتاق‌های روبه‌روی آنها فاقد چنین ویژگی‌هایی هستند؛ بنابراین، این پژوهش در راستای ارتقای کیفیت محیط فیزیکی بیمارستان به بررسی تأثیر عوامل محیطی بر سلامتی بیماران می‌پردازد.

۲- تأثیر عوامل محیطی بر سلامتی انسان

محیط کالبدی بر رفتار فرد تأثیر می‌گذارد و محیط‌هایی با تجربه مثبت و منفی، می‌توانند سبب شوند که فرد بر استرس خود غلبه کند و یا دچار استرس گردد [۲]. لیدر و همکاران معتقدند که محیط فیزیکی بیمارستان، می‌تواند با انتقال مفاهیم منفی، سطوح استرس را ایجاد کند. در چنین فضاهایی، واکنش‌های هیجانی منفی، مانند: اضطراب یا ترس، فقط با نام بردن از ساختمان بیمارستان می‌تواند نمایان و برانگیخته گردد و دیدن محیط‌های بیمارستانی با هر اندازه و شکلی، برای هر فردی تجربه ترسناکی را فراهم می‌کند [۳]. اینگام و اسپنسر (۱۹۹۷) بهره‌گیری از نور مناسب، مبلمان زیبا و راحت را در کنار کالبد فیزیکی و معماری بنا، در کاهش میزان استرس بیماران مؤثر می‌دانند [۴]. به طور کلی، می‌توان گفت که محیط پیرامون شامل عواملی نظیر دما، دید و منظر، نور، صدا (سروصدا) و تراکم افراد و بیماران تأثیر بسزایی در کیفیت ادراک و سلامتی افراد در محیط‌های درمانی دارد [۵]. در این بین ویژگی‌های معماری ساختمان، مانند: جهت‌گیری ساختمان، شکل و اندازه پنجره، کنترل تابش خیره‌کننده، تعیین مقدار نور روز، تشعشع رنگ و درجه حرارت و تعادل بین نور الکتریکی و روشنایی روز نیز تأثیر بسزایی در سلامتی افراد در محیط دارند [۱].

در ادامه، مهم‌ترین عواملی که می‌تواند بر سلامتی افراد در محیط‌های درمانی تأثیرگذار باشد، شرح داده خواهند شد.

چراکه جریان هوا و بادهای گرم و سرد در بهبودی فیزیکی و روانی بیماران مؤثر است [۱۹].

به صورت معمولی در هنگام فشار روحی و استرس تنفس انسان دچار مشکل می شود و میزان اکسیژن دریافتی بدن انسان کاهش می یابد. این کمبود اکسیژن می تواند احساس فشار و نوعی خفگی ایجاد کند. از سوی دیگر، کمبود اکسیژن کارکرد قلب را مختل می کند و تپش قلب بالا می رود و همین استرس زاست. استنشاق هوای تازه که حاوی مقادیر بسیار زیادی اکسیژن است این کمبود را جبران می کند و بدن به حالت تعادل باز می گردد و میزان استرس کاهش می یابد [۲۰]. طبق تحقیق الکالین و یلدریم جریان هوای تازه یکی از عوامل مؤثر در ادراک محیط است و تأثیر بسزایی در کیفیت محیط و ایجاد آرامش دارد [۵]. همچنین برگ نیز بر تأثیر جریان هوای تازه، در ایجاد آرامش و کاهش استرس و اضطراب افراد در محیط تأکید کرده است [۲۱].

۲-۳- تأثیر گرما و سرما بر سلامتی افراد

در مورد میزان گرما و رطوبت، روانشناسان معتقد هستند چنانچه میزان گرما و رطوبت در فضای معماری، از حد عادی فراتر رود، تحریک، استرس، واکنش های منفی و رفتارهای پرخطرگرانه در افراد حاضر در فضا ایجاد می گردد [۲۲]. چراکه گرما سبب افزایش چرخه متابولیسم بدن می شود که می تواند استرس را باشد و همچنین تعریق زیاد می تواند الکترولیت های بدن را کاهش دهد. در گرمادگی، سازوکار تعریق بدن کاهش می یابد و در ادامه، میزان درجه حرارت داخلی بدن به سرعت افزایش پیدا می کند و با تأثیر بر مغز انسان می تواند سبب مرگ شود [۱۸]. مطالعات نشان داده اند که وضعیت فیزیولوژیکی بدن انسان طی فصول مختلف سال و طی ساعات مختلف روز تحت تأثیر قرار می گیرد و به نور، حرارت و سرما، ارتفاع محل و نوع سکونت واکنش نشان می دهد [۱۸].

۲-۴- تأثیر عناصر طبیعی بر سلامتی

هواشناسان زیستی بر این باورند که فراوانی بیش از اندازه یون های مثبت می تواند عامل ضعف بدنی، تحریک پذیری، سردردها، اضطراب، بی خوابی، کابوس های شبانه، بی تفاوتی، تهوع و افسردگی باشد [۲۳]. مطالعات صورت گرفته نشان می دهد که مشاهده مناظر طبیعی (محرک وجه دیداری و بصری) و در معرض عناصر طبیعی قرار گرفتن (محرک حس لامسه، بویایی، شنیداری) می تواند باعث کاهش یون های مثبت شود که این امر می تواند عوامل تنش زای روان شناختی را کاهش داده و رفاه بیولوژیکی را افزایش دهد. همچنین، سبب بهبود اضطراب های درونی می شود. بسیار تأکید شده است که مناظر به خصوص مناظر ملایم و مطلوب به سرعت احساسات فرد را برانگیخته و در رفع تنش فرد مؤثر است، همچنین دوری گزینی از عصبانیت، خستگی و آسودگی از علائم فیزیکی را به همراه دارد [۲۴].

فضای سبز می تواند بر کاهش فشار روانی و تنش های اجتماعی حاصل از آن مؤثر باشد. این ویژگی نوعی متغیر متعادل کننده است که ارتباط میان این متغیر با افکار منفی بر کیفیت بهداشت روان می افزاید [۲۵]. همچنین، انتخاب گیاه که بر مبنای اثر تحریک احساس است، شامل: شاخ و برگ و درختچه که در پس زمینه به صورت رنگی دیده می شود، بوته های رنگی و معطر که حس بویایی را تحریک می کند، چمن های صاف، نرم و سطوح وسیع جهت تأثیر مثبت محرک و درخت های بالغ همراه با سایه فراخ و یا درختانی که محدوده ها را مشخص می کنند [۲۶]. خود به نوعی حواس را برمی انگیزد و

در راستای تمرکز آن، زمینه آرامش، خودآگاهی و گریز از اضطراب را فراهم می آورد. محیط های رمزآلود و پیچیده، می تواند موردعلاقه فرد و چالش برانگیز بوده و بنابراین بر روی سلامت او تأثیرگذار باشد [۲۷].

اثرهای سلامت بخش طبیعت باغ به علت تأثیر احیاء بر روی مراکز احساسی و عاطفی در سیستم لیمبیک مغز است که این تغییرات توسط محیط ایجاد می شوند. از همه اینها مهم تر این تأثیرات مربوط به محیط طبیعت مانند و حیات وحش است. این نظریه انسان را به عنوان یک موجود بیولوژیکی در نظر می گیرد و زندگی او را در تماس با طبیعت مورد بررسی قرار می دهد [۲۸]. مشخص شده است که فضای باز، نور و مناطق طبیعی سریع ترین واکنش های بازتوانی (واکنش های ترمیمی) را پس از استرس ایجاد می کنند زیرا آنها مشابه با خانه اصلی انسان ها هستند. هنگامی که انسان به چنین محیط هایی می رود، به طور ناخودآگاه احساس راحتی و آرامش به وی دست می دهد [۲۸]. مطالعات کریتزر و همکاران (۲۰۱۲) نیز ثابت کرده است که اگر افراد خصوصاً بیماران، مدت زمان سه الی پنج دقیقه را در طبیعت سپری کنند، این تعامل با طبیعت استرس آنان را به شدت کاهش می دهد و تأثیر بسزایی در کاهش عصبانیت و ترس آنان دارد [۲۹]. طبیعت، عاملی مؤثر در روند درمان در بسیاری از پژوهش های بررسی شده است، شدت درد و ناراحتی های روحی و روانی در مواجهه با طبیعت تخفیف [۳۰] و استرس بیماران کاهش می یابد [۳۱].

۳- تعریف استرس، اضطراب و افسردگی

افراد با توجه به نوع و شرایط زندگی شان با عوامل استرس زای گوناگونی مواجه هستند. هانس سلیه، عوامل خارجی و محرک ها را به عنوان عوامل استرس زا نامید و بر این عقیده است که استرس، واکنش فیزیولوژیک بدن انسان است در مقابل هر تغییر، تهدید و یا فشار بیرونی یا درونی که تعادل روانی انسان را برهم می زند. این فشارها و محرک های خارجی، جسمی و یا روانی می تواند سبب واکنش جسمانی گردد که سلیه آن را «سندرم سازگاری عمومی» نامیده است [۳۲]. نظریه تعادل کانون بیان می کند که هر چیزی که تعادل زیستی یا روانی ما را بر هم می زند، در ما ایجاد استرس می کند. بر این اساس هر چه ما تعادل بیشتری داشته باشیم مقاومت، تاب آوری و پایداری بهتری در مقابل استرس داریم. بهبود و رهایی از استرس شامل تغییرات مثبت متعددی است که در سیستم فیزیولوژیکی و رفتار فرد رخ می دهد و اغلب در این مرحله بر عملکرد فرد هم تأثیر می گذارد [۳۳-۳۴].

افسردگی به حالات خلق افسرده، کاهش علاقه یا لذت، کاهش وزن یا کاهش یا افزایش اشتها، بی خوابی، بی قراری یا کندی حرکتی روانی، خستگی یا از دست دادن انرژی، احساس بی ارزشی یا گناه، مشکل تمرکز یا بی تصمیمی اطلاق می گردد [۳۵]. افسردگی یک بیماری جدی محسوب می شود که بر کل زندگی فرد تأثیر می گذارد و می تواند منجر به رنج زیاد و کاهش فعالیت در زندگی روزمره شود [۳۶]. سلیگمن افسردگی را به لحاظ رواج بالای آن، سرماخوردگی بیماری های روانی نامید که حاکی از اهمیت مسأله افسردگی است [۳۷]. سبب شناسی اختلال افسردگی از دید زیستی، نشان داده است که کاهش سه انتقال دهنده سروتونین، نوراپی نفرین و دوپامین در اختلال افسردگی وجود دارد [۳۸].

علایم افسردگی عبارت اند از: احساس ناراحتی و یا ناامیدی، از دست دادن علاقه به اغلب فعالیت های طبیعی، کم اشتها، اختلالات خواب، خستگی و فقدان انرژی، احساس بی ارزشی و یا احساس گناه و تمرکز بر مشکلات [۱۳]. همچنین، افسردگی بر توانایی فرد برای انجام دادن

سال و نیز بیماران دارای مشکلات قلبی و بیماران دیابتی از مطالعه حذف شدند. بنابراین، تنها بیماران دارای نارسایی کلیوی، آسم، مشکلات گوارشی، مسمومیت‌ها و بیماری‌های مزمن انسداد ریوی در پژوهش شرکت کرده‌اند که نوع بیماری تأثیر چندانی بر افسردگی افراد ندارد. همچنین، نوع داروی بیماران شرکت‌کننده در پژوهش با مشورت پزشک کنترل شد و بیمارانی که داروهایی با عوارض افسردگی مصرف می‌کردند در پژوهش شرکت داده نشدند. قبل از تحویل پرسش‌نامه به شرکت‌کنندگان اطمینان داده شد که مشخصات شخصی، از قبیل: نام، نام خانوادگی، تحصیلات و غیره محرمانه بوده و داده‌های به‌دست‌آمده بدون ذکر مشخصات فردی هر شخص ارائه می‌شوند. با روش نمونه‌گیری هدفمند در مجموع ۵۲ پرسش‌نامه به‌صورت حضوری توزیع و با در نظر گرفتن مناسب نبودن شرایط بیماران برای تکمیل پرسش‌نامه، سؤالات پرسش‌نامه به‌صورت مصاحبه با آنها و مطرح کردن سؤالات پژوهش توسط نگارندگان برای بیماران، توضیحات آنان در پرسش‌نامه قید شد. با توجه به عدم تمایل تعدادی از نمونه‌ها برای شرکت در مطالعه و مخدوش بودن برخی از پرسش‌نامه‌ها (به عنوان مثال: به همه سؤالات پاسخ یکنواخت دادند)، در نهایت ۴۳ پرسش‌نامه قابل قبول به دست آمد. بنابراین، داده‌های نهایی در دو گروه الف با ۲۳ بیمار و گروه ب با ۲۰ بیمار جمع‌آوری و ارزیابی شد.

پرسش‌نامه‌ها در اتاق‌های بستری بیمارستان مصطفی خمینی شهر ایلام که در مجاورت پارک طبیعی تپه شاهد قرار دارد توزیع شد. اتاق‌های بیمارستان شامل دو گروه الف و ب هستند که پنجره‌های اتاق‌های گروه الف رو به درختان موجود در پارک کنار بیمارستان و پنجره‌های اتاق‌های گروه ب که در طرف دیگر قرار دارند رو به فضای شهر هستند. همه اتاق‌ها از نظر ابعاد، اندازه پنجره، آرایش تخت، میلمان و دیگر ویژگی‌های فیزیکی مشابه هستند. ابعاد و ارتفاع پنجره به‌گونه‌ای است که امکان مشاهده بیرون را برای بیمار خوابیده روی تخت فراهم می‌کند. تفاوتی که در اتاق‌های گروه الف و ب وجود دارد شامل منظره‌ای است که آن‌سوی پنجره در هر دو گروه اتاق‌ها دیده می‌شود: (۱) مجاورت اتاق‌های گروه الف با فضای سبز و مجاورت اتاق‌های گروه ب با محیط شهری، (۲) اتاق‌های گروه الف نور شرقی و اتاق‌های گروه ب نور غربی دریافت می‌کنند. (۳) جریان هوای پارک طبیعی مجاور بیمارستان به سمت اتاق‌های گروه الف می‌آید و اتاق‌های گروه ب فاقد چنین ویژگی هستند.

ابزار اصلی برای انجام دادن پژوهش، پرسش‌نامه DASS-21 است که توسط لایبوند در سال ۱۹۹۵ جهت سنجش استرس، اضطراب و افسردگی تهیه شده و ۲۱ سؤال دارد. این پرسش‌نامه شامل ۳ مؤلفه است که هر یک از خرده‌های مقیاس‌های آن شامل ۷ سؤال و نمره نهایی هر خرده مقیاس از طریق مجموع نمرات سؤال‌های مربوط به آن به دست می‌آید. شیوه نمره‌گذاری آن به این صورت است که برای هر سؤال از صفر (اصلاً در مورد من صدق نمی‌کند) تا ۳ (کاملاً در مورد من صدق می‌کند) در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که DASS-21 فرم کوتاه شده مقیاس اصلی (۴۲ سؤال) است، نمره نهایی هریک از خرده‌مقیاس‌ها باید ۲ برابر شود.

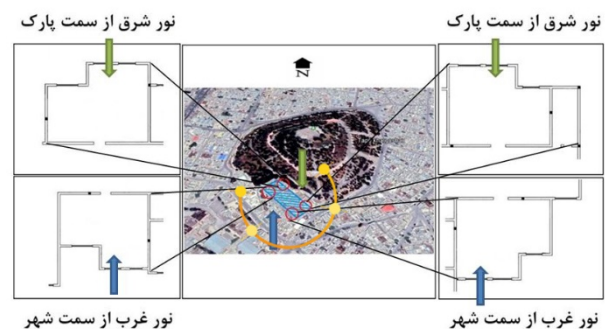
کرافورد و هنری، DASS-21 را با دو ابزار دیگر مربوط به افسردگی و اضطراب و یک ابزار مربوط به عاطفه مثبت و منفی مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که بهترین حالت برای DASS-21 زمانی است که هر سه عامل در آن در نظر گرفته شود [۴۲]. همچنین، این پژوهشگران ضریب پایایی آن را با استفاده از آلفای کرونباخ، کل مقیاس ۰.۹۳، مقیاس افسردگی ۰.۸۸، اضطراب ۰.۸۲ و استرس ۰.۹۰ گزارش کرده‌اند [۴۲]. استفاده متعدد از آن

موفقیت‌آمیز کارها اثر می‌گذارد. بنابراین، افراد افسرده تمایل دارند که کندتر کار کنند و کمتر مولد باشند [۳۹].

اضطراب و استرس زمانی اتفاق می‌افتد که یک بی‌تعادلی میان نیازهای انسان و قابلیت‌های محیطی ایجاد شود [۴۱]. اضطراب به حالتی اشاره دارد که به موجب آن، فرد بیش از اندازه درباره اتفاق افتادن چیز وحشتناکی در آینده نگران، تنیده و ناراحت است [۳۵].

۴- بررسی نمونه مطالعاتی

بیمارستان شهید مصطفی خمینی (ره) ایلام در مجاورت پارک طبیعی تپه شاهد، قرار گرفته و اتاق‌های بستری بیماران در طبقات دوم و سوم به این پارک دید دارند (تصویر ۱). هم‌جواری برخی از اتاق‌های بیماران با فضای سبز و تپه‌ی هم‌جوار بیمارستان باعث شده تا این اتاق‌ها شرایط متفاوتی نسبت به اتاق‌های مجاور که هم‌جوار با پارک و فضای سبز نیستند؛ داشته باشند. همچنین، بهره‌گیری از نور مناسب شرق در این اتاق‌ها و نیز قرارگیری در معرض باد ملایم که از سمت تپه‌ی مجاور بیمارستان به سمت اتاق‌ها می‌وزد باعث شده است که شرایط محیطی مناسبی برای این بیماران فراهم شود.



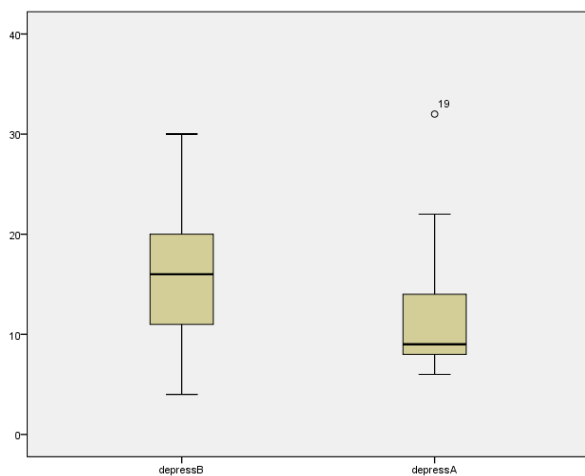
تصویر ۱ نمونه‌ای از پلان‌های واقع در ضلع شرقی و غربی بیمارستان. دو نمونه پلان قسمت بالای تصویر واقع در ضلع شرقی بیمارستان که در مجاورت با فضای سبز قرار دارند و نور شرقی دریافت می‌کنند و دو نمونه پلان قسمت پایین تصویر در ضلع غربی قرار دارند که در مجاورت با فضای شهر و نور غربی دریافت می‌کنند.

۵- مواد و روش کار

پژوهش حاضر از نوع علی-مقایسه‌ای یا پس رویدادی است که به مقایسه صفت دو گروه می‌پردازد. یک گروه واجد صفت و گروه دیگر، فاقد آن است. به نحوی که روش تجزیه و تحلیل داده‌ها در آمار استنباطی، آزمون t استودنت است که پرکارترین ابزار آماری مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌های تحقیقاتی است [۴۱]. همچنین، در بخش آمار توصیفی از شاخص‌های آماری میانگین، انحراف معیار، واریانس، کمینه و بیشینه نمرات و نمودار مربوط که توسط نرم‌افزار SPSS صورت گرفته است و برای بررسی فرضیات تحقیق از آزمون t دو نمونه مستقل استفاده شد.

جامعه آماری این تحقیق را بیماران بستری‌شده در اتاق‌های طبقات دوم و سوم بیمارستان مصطفی خمینی شهر ایلام که در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور و در سه مرحله انتخاب شده‌اند، تشکیل می‌دهند. شرایط ورود به مطالعه تمایل به شرکت در طرح، نداشتن سابقه بیماری‌های روانی، نداشتن موارد فوتی در اعضای خانواده طی ۶ ماه گذشته بود. همچنین، بیمارانی که عوارض بیماری پیشرفته داشتند و بیماران کمتر از ۲۰ سال و بیشتر از ۵۰

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که ۴۷.۸ درصد از بیماران گروه الف، از نظر افسردگی در حالت عادی، ۲۶.۱ درصد افسردگی خفیف، ۱۷.۴ درصد افسردگی متوسط، ۴.۳ درصد افسردگی شدید و ۴.۳ درصد افسردگی بسیار شدید دارند. این بدین معناست که اکثر بیماران گروه الف از نظر افسردگی در حالت عادی قرار دارند. این در حالی است که ۱۵ درصد بیماران گروه ب از نظر افسردگی در حالت عادی، ۱۵ درصد افسردگی خفیف، ۵۵ درصد افسردگی متوسط، ۱۰ درصد افسردگی شدید و ۵ درصد افسردگی بسیار شدید دارند. پس می‌توان گفت که میزان افسردگی بیماران گروه ب در حالت متوسط قرار دارند و نیز در مقایسه با بیماران گروه الف از نظر افسردگی در وضعیت حادثی قرار دارند. این بدین معناست که متغیرهای عوامل محیطی تأثیر بسزایی در کاهش افسردگی بیماران گروه الف داشته است.



تصویر ۲ نمودار جعبه‌ای مربوط به میزان افسردگی در گروه الف و ب

مقایسه‌ی نمودارهای جعبه‌ای افسردگی در گروه الف و ب نشان می‌دهد که پراکندگی داده‌ها در گروه الف کمتر از گروه ب (به این دلیل که در گروه ب نمودار جعبه‌ای دارای کشیدگی بیشتر و خطوط عمودی (خطوط ویسکر) نیز طولانی‌تر از حالت الف) و میانه نیز به سمت پایین جعبه متمایل است (خط درون نمودار جعبه‌ای) به این معنا که در گروه الف چولگی مثبت و تعداد زیادی از داده‌های در ابتدای مقیاس پراکنده‌اند؛ بنابراین مقایسه‌ای دو نمودار جعبه‌ای نشان می‌دهد که افسردگی در گروه الف کمتر از گروه ب است.

جدول ۳ میزان شدت اضطراب بیماران در گروه الف و ب

	شدت اضطراب			
	عادی	خفیف	متوسط	شدید
گروه الف	۲۱.۷٪	۱۷.۴٪	۴۷.۸٪	۴.۳٪
گروه ب	۵٪	۵٪	۵۵٪	۲۵٪

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که بیشترین میزان اضطراب در گروه الف به ترتیب با ۴۷.۸ و ۲۱.۷ درصد در وضعیت متوسط و عادی است و در گروه ب نیز به ترتیب در حالت متوسط و شدید با ۵۵ و ۲۵ درصد است. پس می‌توان گفت که میزان اضطراب در گروه الف و ب هرچند که تفاوت محسوسی وجود

در ایران نشان‌دهنده پایایی و روایی مناسب آن است [۴۴]. در این پژوهش از طریق آلفای کرونباخ میزان ثبات داخلی مقیاس تعیین شد که برای میزان استرس ۰.۷۹۰، اضطراب ۰.۷۳۹، افسردگی ۰.۷۴۵ و برای کل مقیاس ۰.۸۱۲ بود که نشان‌دهنده پایایی بالای پرسش‌نامه است.

۶- یافته‌های پژوهش

۶-۱- آمار توصیفی میزان افسردگی، اضطراب و استرس

به منظور بررسی و توصیف دقیق‌تر پاسخ‌های به‌دست‌آمده، شاخص‌های آمار توصیفی از قبیل: اندازه‌های گرایش مرکزی و شاخص‌های پراکندگی مربوط به میزان افسردگی، اضطراب و استرس در بین بیماران بستری در بیمارستان مصطفی خمینی (ره) برای بیماران گروه الف و ب در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است.

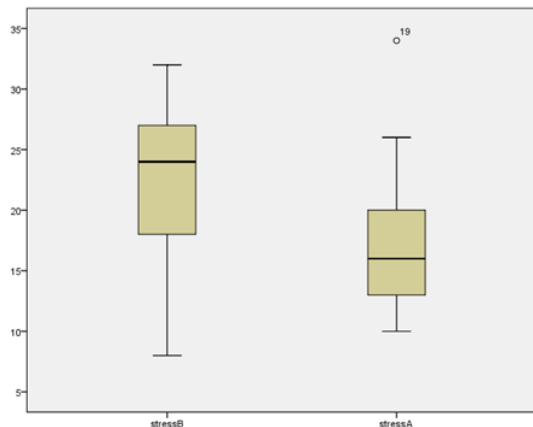
جدول ۱ شاخص‌های آمار توصیفی مربوط به نمرات استرس، اضطراب و افسردگی بیماران

نوع شاخص	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	بازه	تعداد	بیماران
افسردگی	۲۳	۱۱.۲۱	۶	۳۲	۳۶.۶۳	۶۰۵	گروه الف
اضطراب	۲	۱۰.۲۶	۲۰	۱۶.۴۷	۴۰۵	۵۵۱	بیماران
استرس	۱۰	۱۶.۷۸	۳۴	۳۰.۴۵	۵۵۱	۶۰۵	گروه الف
افسردگی	۲۰	۱۵.۵۰	۴	۳۰	۳۷.۸۴	۶۰۵	گروه ب
اضطراب	۴	۱۳.۶۰	۲۴	۲۰.۰۴	۴۰۵	۴۴۷	بیماران
استرس	۸	۲۲.۵۰	۳۲	۴۴.۱۵	۶۶۴	۶۰۵	گروه ب

میانگین نمرات افسردگی، اضطراب و استرس در گروه الف به ترتیب برابر با ۱۱.۲۱، ۱۰.۲۶ و ۱۶.۷۸ است. این بدین معناست که طبق دسته‌بندی‌های موجود در جدول شماره ۱ در گروه الف میزان افسردگی و استرس خفیف و اضطراب متوسط به‌دست‌آمده است. میانگین نمرات افسردگی، اضطراب و استرس در بیماران گروه ب به ترتیب برابر با ۱۵.۵۰، ۱۳.۶۰ و ۲۲.۵۰ است؛ که طبق جدول شماره ۱ میزان افسردگی، اضطراب و استرس در هر سه حالت متوسط گزارش شده است. علاوه بر این، واریانس به‌دست‌آمده در بیماران گروه الف و ب در هر سه حالت استرس، اضطراب و افسردگی نشان می‌دهد که پراکندگی داده‌های به‌دست‌آمده در بیماران گروه ب بیش‌تر از بیماران گروه الف است.

جدول ۲ میزان شدت افسردگی بیماران در گروه الف و ب

	شدت افسردگی			
	عادی	خفیف	متوسط	شدید
گروه الف	۴۷.۸٪	۲۶.۱٪	۱۷.۴٪	۴.۳٪
گروه ب	۱۵٪	۱۵٪	۵۵٪	۱۰٪



تصویر ۴ نمودار جعبه‌ای مربوط به میزان استرس در گروه الف و ب

نمودارهای جعبه‌ای مربوط به داده‌های به‌دست‌آمده از سؤالات مربوط به استرس (تصویر ۴) نشان می‌دهد که در گروه الف چولگی مثبت و در گروه ب چولگی منفی است. به این معنا که در حالت الف تعداد زیادی از داده‌ها در ابتدای مقیاس قرار دارند و در گروه ب نیز اکثر داده‌ها در انتهای مقیاس هستند. پس می‌توان گفت با توجه به تفاوت در چولگی دو گروه و نیز پراکندگی داده‌های گروه ب؛ تفاوت محسوسی در میزان استرس دو گروه الف و ب وجود دارد به این معنا که متغیرهای عوامل محیطی تأثیر بسزایی بر کاهش استرس بیماران در بیمارستان دارند.

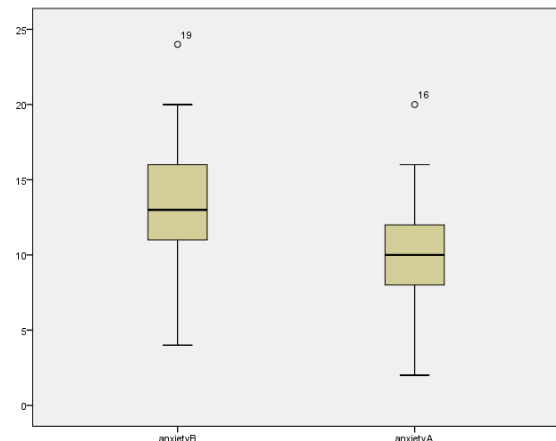
فرضیه اصلی این پژوهش وجود رابطه‌ی معنادار بین عوامل محیطی و کاهش افسردگی، اضطراب و استرس بیماران است. در صورتی که سطح معناداری در آزمون Levene (جدول ۵) بیشتر از ۰.۰۵ باشد، پس می‌توان گفت که واریانس گروه‌ها از تجانس برخوردار است. در این آزمون فرضیه‌ی صفر این است که واریانس دو گروه دارای تجانس است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۵ که سطح معناداری را در هر سه حالت افسردگی، اضطراب و استرس بیشتر از ۰.۰۵ به‌دست‌آمده پس فرض برابری واریانس‌ها پذیرفته می‌شود.

جدول ۵ آزمون لوین افسردگی، اضطراب و استرس

سطح معنی‌داری	آمار f	
۰.۷۵۱	۰.۱۰۲	افسردگی
۰.۷۱۵	۰.۱۳۵	اضطراب
۰.۳۳۹	۰.۹۳۶	استرس

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول شماره ۶ که سطح معناداری را در هر سه حالت افسردگی، استرس و اضطراب کمتر از ۰.۰۵ به‌دست‌آمده پس می‌توان گفت که فرضیه صفر که نشان‌دهنده‌ی عدم اختلاف معنی‌داری بین این شاخص‌ها و دو وضعیت موجود (گروه الف و ب) است، رد می‌شود. به این معنا که عوامل محیطی در کاهش افسردگی، اضطراب و استرس بیماران بستری تأثیرگذار است و می‌تواند تأثیر بسزایی در ارتقای سلامتی بیماران داشته باشد.

دارد، ولی تقریباً مشابه همدیگر هستند. به این معنا که عوامل محیطی تأثیر کمتری بر کاهش اضطراب بیماران بستری در بیمارستان دارد. همچنین، مقایسه‌ی نمودارهای جعبه‌ای گروه الف و ب (تصویر ۳) نشان می‌دهد که در گروه الف میانه در وسط جعبه قرار دارد به این معنا که داده‌ها تقریباً قرینه هستند و در گروه ب تعداد زیادی از داده‌ها در ابتدای مقیاس پراکنده شده‌اند. همچنین، کشیدگی جعبه‌ی گروه ب به این معناست که داده‌ها دارای پراکندگی بیشتری هستند. در مجموع می‌توان گفت که میزان اضطراب در گروه الف کمتر از گروه ب است.



تصویر ۳ نمودار جعبه‌ای مربوط به میزان اضطراب در گروه الف و ب

جدول ۴ میزان شدت استرس بیماران در گروه الف و ب

شدت استرس					
عادی	خفیف	متوسط	شدید	بسیار شدید	
۴۷.۸٪	۲۶.۱٪	۱۳.۰٪	۸.۷٪	۴.۳٪	گروه الف
۱۵٪	۱۵٪	۲۵٪	۴۰٪	۵٪	گروه ب

نتایج جدول شماره ۴ نشان می‌دهد که ۴۷.۸ درصد از بیماران گروه الف، از نظر استرس در حالت عادی، ۲۶.۱ درصد استرس خفیف، ۱۳ درصد استرس متوسط، ۸.۷ درصد استرس شدید و ۴.۳ درصد استرس بسیار شدید دارند. این بدین معناست که بیشتر بیماران گروه الف از نظر استرس در حالت عادی و خفیف قرار دارند و درصد بسیار کمی دارای استرس شدید هستند. در گروه ب نیز ۱۵ درصد از بیماران در وضعیت عادی، ۱۵ درصد در وضعیت خفیف، ۲۵ درصد استرس متوسط، ۴۰ درصد استرس شدید و ۵ درصد استرس بسیار شدید دارند. پس می‌توان گفت که بیشتر بیماران دارای استرس شدید و متوسط هستند که در مقایسه با بیماران گروه الف از نظر استرس در وضعیت شدیدتری قرار دارند. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد که عوامل محیطی در میزان کاهش استرس بیماران تأثیرگذار است.

جدول ۶ آزمون T دو نمونه مستقل برای بررسی میزان افسردگی، اضطراب و استرس در بیماران گروه الف و ب

گروه	میانگین	انحراف معیار	تفاوت	تست T	میزان
افسردگی	۲۳	۱۱.۲۱	۶.۰۵	-۲.۳۹	۴۱
الف					۰.۰۲۷
گروه	۲۰	۱۵.۵۰	۶.۱۵		
ب					
اضطراب	۲۳	۱۰.۲۶	۴.۰۵	-۲.۵۶	۴۱
الف					۰.۰۱۴
گروه	۲۰	۱۳.۶۰	۴.۴۷		
ب					
استرس	۲۳	۱۶.۷۸	۵.۵۱	-۳.۰۸	۴۱
الف					۰.۰۰۴
گروه	۲۰	۲۲.۵۰	۶.۶۴		
ب					

۸- تشکر و قدردانی

پژوهشگران بر خود لازم می‌دانند که از دانشگاه علوم پزشکی ایلام و بیمارستان شهید مصطفی خمینی (ره) به جهت کمک‌های قابل توجه در انجام دادن این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

۹- مراجع

- [1] CABE (Commission for Architecture and the Built Environment), The role of hospital design in the recruitment, retention and performance of NHS nurses in England, London, Commission for Architecture and the Built Environment, 2004.
- [2] Alen, Dilani, Psychosocially Supportive Design, Scandinavian Healthcare Design, 2000; <http://www.Designandhealth.Com/Mediapublishing/Papers.Asp>
- [3] Hesham, Marsafawy, Design for Effective and Affective Medical Environments, PhD Thesis, University Duisburg-Essen, 2006.
- [4] B. Ingham, C. Spencer, Do comfortable chairs and soft light in the waiting area really help reduce anxiety and improve the practice's image?, Health Psychology Update, 28, pp. 17 – 20, 1997.
- [5] A. Akalin- Baskayaa, K. Yildirim, Design of circulation axes in densely used polyclinic waiting halls, Building and Environment, No. 4, pp. 1743-1751, 2007.
- [6] Craig, DiLouie, Lighting and Productivity, (LDL), Daylighting, Better Bricks, North West Energy Efficiency Alliance, 2002.
- [7] K. M. Beauchemin, P. Hays, Dying in the dark: sunshine, gender and outcomes in myocardial infarction, *Journal of the Royal Society of Medicine*, Volume 91, pp. 352-354, 1998.
- [8] A. Lewy, V. K. Bauer, N. L. Cutler, R. L. Sack, S. Ahmed, K. H. Thomas, M. L. Blood, J. M. Jackson, Morning vs. evening light treatment of patients with winter depression, *Arch Gen Psychiatry*, 55(10), pp. 890-896, 1998.
- [9] F. Benedetti, C. Colombo, B. Barbini, E. Campori, E. Smeraldi, Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression, *Journal of Affective Disorders*, 62(3), 2001.
- [10] M. E. Demirkol, et al., Efficacy of light therapy on non-seasonal depression and inflammatory markers, *Eur. J. Psychiat*, 2019.
- [11] F. Kateb, *Light in Interior Architecture*, Rah-e Novin Publications, Tehran, 2010. (in Persian)
- [12] P. Boyce, C. Hunter, O. Howlett, The benefits of daylight through windows, New York, Rensselaer Polytechnic Institute, 2003.
- [13] Xue Zhao, Jing Ma, Shiyu Wu, Iris Chi, Zhenggang Bai, Light therapy for older patients with non-seasonal depression: A systematic review and meta-analysis, *Journal of Affective Disorders*, Volume 232, pp. 291-299, 2018.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیرات عوامل محیطی در ارتقای سلامتی بیماران در محیط‌های درمانی و با این فرضیه انجام شد که بین عوامل محیطی و استرس، اضطراب و افسردگی بیماران رابطه معناداری وجود دارد. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش حاکی از آن است که عوامل محیطی در کاهش افسردگی، اضطراب و استرس بیماران بستری در مراکز درمانی تأثیرگذار است و می‌تواند تأثیر بسزایی در ارتقای سلامتی بیماران داشته باشد. نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر با نتایج حاصل از پژوهش‌های سوچی و همکاران (۲۰۱۸) [۴۵]، آندراد و همکاران (۲۰۱۷) [۴۶] و فارمی و همکاران (۲۰۱۹) [۴۷] همسو است. این مطالعات بر این عقیده هستند که عوامل مختلف محیطی تأثیر مثبتی بر حالات روحی روانی افراد دارد. همچنین، نتایج پژوهش آیندو (۲۰۱۶) نشان داد که گوش دادن به موسیقی آرامش‌بخش و نیز صداهای محیطی، مانند: صدای باد ملایم، آواز پرندگان و صدای آب؛ باعث کاهش استرس بیماران و پرستاران در محیط بیمارستان می‌شود [۴۸]. علاوه بر این، نتایج پژوهش رویر و همکاران (۲۰۱۲) بیانگر کاهش قابل توجه میزان اضطراب و افسردگی افراد مسن در مواجهه با نور در محیط درمانی است.

در طراحی محیط‌های درمانی باید شرایطی را در نظر گرفت که محل اقامت بیماران دارای نور طبیعی مناسب باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از نور شرق برای اتاق‌های بستری بیماران می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش افسردگی، اضطراب و استرس بیماران داشته باشد. بنابراین، برای بهره‌گیری از نور مناسب روز بایستی به ارتفاع پنجره‌ها (با افزایش ارتفاع پنجره عمق و مقدار نور زیاد می‌شود)، نوع سایبان (سایبان داخلی یا خارجی) و نوع شیشه (شیشه‌های کنترل‌کننده پرتو مستقیم خورشید) توجه شود. همچنین، تابش مستقیم آفتاب بایستی کنترل گردد تا باعث خیرگی چشم و نیز برهم خوردن تعادل حرارتی فضا نشود.

محل استقرار بناهای بیمارستانی باید به نحوی انتخاب شود که اتاق‌های بستری بیماران دید مناسبی به فضاهای سبز (طراحی پنجره‌های افقی در

- general population, participants of a depression congress and job placement officers in Germany, *Psychiatry research*, 220(1), pp. 598-603, 2014.
- [40] G. W. Evans, S. Cohen, "Environmental Stress", in Stokols D & I. Altman (eds.), *Handbook of Environmental Psychology*, New York: Wiley, pp. 571-610, 1987.
- [41] A. Delavar, *Theoretical and Scientific foundations in humanities and social sciences*, Roshd Publications, Tehran, 2017. (in Persian فارسی)
- [42] J. R. Crawford, J. D. Henry, The depression anxiety stress scale, *Br J Psychol*, 42(2):111-31, 2003. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12828802>.
- [43] J. D. Henry, J. R. Crawford, The short-form version of the Depression Anxiety Stress Scales (DASS-21), Construct validity and normative data in a large non-clinical sample, *British Journal of Clinical Psychology*, 44(2), pp. 227-39, 2005.
- [44] A. Norouzi Koushali, Z. Haji Amini, A. Ebadi, F. Khamseh, Z. Rafieian, A. Sadeghieh, Comparison of the level of public health and the rate of emotional reactions of nurses working in the intensive care unit and other units, *Scientific Journal of Nursing and Midwifery Faculty*, Vol. 23, No. 80, pp. 15-23, 2013. (in Persian فارسی)
- [45] Lee Suji, Hwanhee Lee, Woojae Myung, E. Jin Kim, Ho Kim, Mental disease-related emergency admissions attributable to hot temperatures, *Science of The Total Environment*, Volumes 616-617, pp. 688-694, 2018.
- [46] Andrade, Cla. Campos., Devlin, A. S. Pereira, Ci. Roberto., Lima, Maria. Lui., Do the hospital rooms make a difference for patients' stress? A multilevel analysis of the role of perceived control, positive distraction, and social support, *Journal of Environmental Psychology*, 2017.
- [47] F. A. Faremi, M. I. Olatubi, K. G. Adeniyi, O.R. Salau, Assessment of occupational related stress among nurses in two selected hospitals in a city southwestern nigeria, *International Journal of Africa Nursing Sciences*, 2019.
- [48] Timothy Onosahwo Iyendo, Exploring the effect of sound and music on health in hospital settings: A narrative review, *International Journal of Nursing Studies*, Volume 63, pp. 82-100, 2016.
- [14] S. Joseph, F. W. Takahashi, R. Turek, Y. Moore, *Handbook of Behavioral Neurobiology, Circadian Clocks*, New York, Kluwer Academic/ Plenum, 2001.
- [15] M. A. Oldham, D. A. Ciraulo, Bright light therapy for depression: a review of its effects on chronobiology and the autonomic nervous system, *Chronobiol. Int.* 31, pp. 305-319, 2014.
- [16] B. Martensson, A. Pettersson, L. Berglund, L. Ekselius, Bright white light therapy in depression: A critical review of the evidence, *Journal of Affective Disorders*, Volume 182, pp. 1-7, 2015.
- [17] S. E. Knapen, M. V. D. Werken, M. C. M. Gordijn, Y. Meesters, The duration of light treatment and therapy outcome in seasonal affective disorder, *Journal of Affective Disorders*, 166, pp. 343-346, 2014.
- [18] H. Mohammadi, *Medical Climatology*, University Publication, Tehran, 2016. (in Persian فارسی)
- [19] A. Barker, K. Hawton, J. Fagg, C. Jennison, Seasonal and weather factors in parasuicide, *Br J Psychiatry*, 165(3), pp. 375-80, Sep, 1994.
- [20] S. A. Haeri Rouhani, *Summary of Guyton's Medical Physiology*, Translated by: A. Alirezaei, Arjmand Publications, Tehran, 1998. (in Persian فارسی)
- [21] A. V. D. Berg, Health Impacts of Healing Environments, A Review of Evidence for Benefits of Nature, Daylight, Fresh Air and Quiet in Healthcare Settings, Groningen, University Hospital Groningen, 2005.
- [22] P. A. Bell, Physiological, Comfort, Performance, And Social Effects Of Heat Stress, *Journal of Social Issues*, 37, pp. 71-94, 1981.
- [23] S. A. Rahma, L. Kagamov, C. M. Shapiro, Antidepressant action of melatonin in the treatment of Delayed sleep syndrome, *Sleep Medicine*, 11, pp. 131-136, 2010.
- [24] R. Parsons, The Potential Influences of Environmental Perception on Human Health, *Environ*, 1991.
- [25] A. Van den Berg, et al., Green space as a buffer between stressful life events and health, *Journal of Social Science and Medicine*, (70), pp. 1203-1210, 2010.
- [26] I. Sad, Therapeutic effects of garden, *Journal of Technology*, (38), pp. 55-68, 2003.
- [27] J. Naderi, B. Raman, Capturing impressions of pedestrian landscapes used for healing purposes with decision of tree learning, *Journal of Landscape and Urban Planning*, (73), pp. 155-166, 2005.
- [28] R. Ulrich, Stress Recovery during Exposure to Natural and Urban Environments, *Environ. Psychol.*, 1991.
- [29] Mary Kreitzer, Jo. Zborowsky, J. Larson, What is a Healing Environment?, Available on: <http://takingcharge.csh.umn.edu/explore-healing-practices/healingenvironment>, 2011. (visited at: 2012 :04 :15).
- [30] S. A. Sherman, J. W. Varni, R. S. Ulrich, V. L. Malcarne, Post-occupancy Evaluation of Healing Gardens in a Pediatric Cancer Center", in *Landscape and Urban Planning*, 73(2-3), pp. 167-183, 2005.
- [31] Nachri. Evidence for Innovation, National Association of Children's Hospitals and Related Institutions (NACHRI), Issue <http://www.healthcaredesignmagazine.com>, Date: Online, Posted On: 7/8/2008.
- [32] H. Selye, *Stress in Health and Disease*, Reading (Mass): Butterworths, 1976.
- [33] R. Ulrich, Human response to vegetation and landscapes, *Journal of Landscape and Urban Planning*, (13), pp. 29-44, 1986.
- [34] P. Drucker, Knowledge Worker Productivity, The biggest challenge California, *Management Review*, 41(2), pp. 79-94, 2005.
- [35] Richard Halgin, P. Whitbourne, Susan Krauss, *Psychological Pathology*, Translated by: Yahya Seyed Mohammadi, Ravan Publication, Tehran, 2003. (in Persian فارسی)
- [36] C. Blomdahl, A. B. Gunnarsson, S. Guregard, A. Bjorklund, A realist review of art therapy for clients with depression, *The Arts in Psychotherapy*, 40, pp. 322-330, 2013.
- [37] M. Seligman, E. P. Flourish, A visionary new understanding of happiness and well-being, USA: Free Press, 2011.
- [38] B. Sadock, V. Kaplan, Kaplan and Sadock's Pocket Handbook of Clinical Psychiatry, 5th Ed., Lippincott Williams and Wilkins, 2010.
- [39] S. Dietrich, R. Mergl, C. Rummel-Kluge, Personal and perceived stigmatization of depression: A comparison of data from the



مطالعه کامپوزیت‌های چوب پلاستیک جهت ایجاد امکان ارزیابی و توسعه کاربرد آنها در نمای ساختمان‌ها

آزاده عسکری‌نژاد^{۱*}، سهراب ویسه^۲

۱. استادیار، شیمی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

۲. استادیار، مهندسی معدن، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

* تهران، بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری، فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت، صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

E-mail: azadaskarinejad@gmail.com

چکیده

کامپوزیت‌های چوب پلاستیک (Wood Plastic Composites)، به اختصار WPC مواد کامپوزیتی تشکیل شده از الیاف چوب طبیعی و پلاستیک هستند. چوب پلاستیک‌ها دارای مزایای قابل توجهی هستند که تمایل به استفاده از آنها در قسمت‌های مختلف ساختمان از جمله کف، در، پنجره، نما و غیره را در سال‌های اخیر افزایش داده است. از جمله مزایای این محصولات، چوب مصرفی در آن است. با توجه به اینکه این چوب می‌تواند خاک اره و یا حتی ضایعات سایر محصولات چوبی باشد، نیازی به استفاده از منابع چوبی جدیدی برای تولید آنها نیست. همچنین، پلاستیک‌های بازیافتی نیز منبع خوبی برای استفاده در چوب پلاستیک‌های معمولی‌تر است. به منظور ترویج این محصول برای استفاده در نمای ساختمان‌ها بررسی استانداردها و تهیه شیوه‌نامه‌های ارزیابی و اجرای این محصول ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله، ضمن معرفی و بررسی تحقیقات صورت گرفته در رابطه با این محصول، استانداردهای ویژگی‌ها و روش‌های آزمون مرتبط با آن مورد مطالعه قرار گرفته و الزامات آن تعیین می‌شوند.

کلیدواژگان

کامپوزیت چوب پلاستیک، نمای ساختمان، ارزیابی، ویژگی‌ها

Study of Wood Plastic Composites to Enable the Evaluation and Development of their Application in the Facade of Buildings

Azadeh Askarinejad^{1*}, Sohrab Veiseh²

1. Department of Construction Materials, Road, Housing, and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

2. Department of Construction Materials, Road, Housing, and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

* P.O. Box: 13145-1696, Tehran, Iran, E-mail: azadaskarinejad@gmail.com

Abstract

Wood Plastic Composite (WPC) is a composite material composed of natural wood and plastic fibers. WPCs have significant advantages that have increased the tendency to use them in various parts of buildings, including floors, doors, windows, facades, etc. in recent years. One of the advantages of these products is the wood used in them. As this wood can be sawdust or even waste of other wood products, there is no need to use new wood resources to produce them. Recycled plastics are also good sources for use in more conventional WPCs. In order to promote this product for use in the facades of buildings, it is necessary to review the standards and prepare procedures for the evaluation and implementation of this product. In this article, while introducing and reviewing the research done in relation to this product, the standards of characteristics and related test methods are studied and its requirements are determined.

Keywords

Wood Plastic Composite, Building Facade, Evaluation, Specifications

۱- مقدمه

۱- زیبا و دلپذیر شدن جلوه ظاهری و بیرونی ساختمان و در نهایت دورنما و منظره مناسب و قابل قبول شهر یا محلی که ساختمان در آن واقع شده است.

۲- کاهش اتلاف انرژی در تمام فصول سال؛ چراکه نما در ساختمان نقش یک عایق حرارتی و برودتی را بازی می‌کند، که هم از هدر رفتن انرژی تولیدی سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی ساختمان ممانعت می‌کند و هم می‌تواند بر حسب جنس، رنگ و میزان سطحی که دارد،

امروزه یکی از عناصر با اهمیت در ساخت‌وساز، نمای ساختمان است که به‌طور قابل توجهی در ظاهر ساختمان و همچنین شهر تأثیرگذار است. از دلایل اصلی ایجاد نما برای ساختمان محافظت از سازه در برابر عوامل بیرونی و فیزیکی، مانند: نور خورشید، باد، باران و شرایط جوی نامناسب است. موارد زیر را می‌توان به‌عنوان دلایل و اهداف اصلی نماسازی در ساختمان‌ها نام برد:

چوب پلاستیک‌ها پس از استفاده به آسانی در چرخه بازیافت قرار می‌گیرند و در ساخت آن‌ها از مواد خام ارزان و فراوان استفاده می‌شود [۳]. از آنجایی که مصالح مورد استفاده در نمای ساختمان‌ها در معرض اثرهای فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی ناشی از شرایط محیطی طبیعی هستند، بررسی این اثرها بر طول عمر کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در سال‌های اخیر مورد توجه بوده است. برای مثال، باری که وزش باد بر روی نمای ساختمان اعمال می‌کند، می‌تواند به 4 KN/m^2 برسد [4]. رطوبت و تغییرات دما اثرهای فیزیکی مهمی هستند که بر نمای ساختمان‌ها تأثیر می‌گذارند. اعمال چرخه‌های یخ‌زدن و آب شدن بر روی مصالح نما مقاومت آن‌ها را در برابر تغییرات دمایی نشان می‌دهد. از آنجا که پلیمرهای موجود در کامپوزیت‌های چوب پلاستیک نسبت به نور حساس هستند و فیبرهای طبیعی موجود در آن‌ها آب دوست دارند، رطوبت و پرتو فرابنفش خورشید که از اجزای اصلی هوازدهی طبیعی هستند، برای کامپوزیت‌های چوب پلاستیک دارای اهمیت بالایی هستند و نه تنها خواص مکانیکی، بلکه ظاهر آن‌ها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند [5].

تاکنون مطالعات زیادی در خصوص استفاده از کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در نمای ساختمان‌ها انجام شده است [6,7]. در مطالعات دوام کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در اکثر موارد تمرکز بر روی مدول گسیختگی در خمش و کشش است و هوازدهی و تخریب کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در شرایط محیطی بر اثر گذر زمان به آسیب پیوند بین فیبرها و پلاستیک‌ها و تورم فیبرها و ترک‌خوردگی مخلوط نسبت داده می‌شود. براساس تحقیقات اخیر، نوع مواد اولیه و افزودنی‌ها بر پیوند اجزای کامپوزیت‌های چوب پلاستیک و در نتیجه عملکرد آن‌ها در برابر آزمون‌های رطوبت و هوازدهی مصنوعی مؤثر هستند [۵]. بنابراین، انتخاب محصول پروفیل کامپوزیت چوب پلاستیک تولید شده با فرمولاسیون بهینه برای استفاده در سطوح خارجی ساختمان از اهمیت بالایی برخوردار است. به منظور انتخاب محصول مناسب، آگاهی از استانداردهای ویژگی‌های محصول و فراهم آوردن تجهیزات مورد نیاز برای انجام دادن آزمون‌ها و ترویج اطلاعات و الزامات محصول ضروری است. در این مقاله ضمن معرفی کامپوزیت‌های چوب پلاستیک و کاربردهای مختلف آنها، به ویژگی‌های الزامی آنها و روش‌های آزمون مطابق با استانداردهای موجود پرداخته شده است و آزمون‌های انجام شده بر روی این محصول که بر عملکرد و خواص فیزیکی و دوام آنها مؤثر هستند، گزارش شده است.

۲- ویژگی‌های مواد کامپوزیت چوب پلاستیک

اجزای تشکیل‌دهنده کامپوزیت‌های چوب پلاستیک عبارتند از: پلیمر پایه، پرکننده‌ها و تقویت‌کننده‌ها، عوامل سازگارکننده، مواد شیمیایی شروع‌کننده و سایر مواد افزودنی.

در مواد تقویت شده با ذرات، فاز تقویت‌کننده به صورت ذره‌هایی است که ابعاد آن‌ها در همه جهات برابر است و در نتیجه خواص کامپوزیت حاصل مستقل از جهت خواهد بود. اضافه کردن مواد ذره‌ای به پلیمرها سختی، مقاومت به سایش، زبری سطح و خواص گرمایی ماده حاصل را بهبود می‌بخشد. در مواد تقویت‌شده با الیاف، ابعاد فاز تقویت‌کننده در همه جهات یکسان نیست و طول الیاف بیشتر از ابعاد مقطع عرضی آن است. میزان بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت‌های حاصل از این روش به شدت تحت تأثیر سطح مشترک بین الیاف و ماده زمینه است.

باعث دفع و انعکاس گرما در فصل تابستان خصوصاً در مناطق گرمسیری شود، و عکس همین عملکرد را در فصل زمستان برای جذب انرژی خورشیدی و گرم شدن ساختمان‌ها در مناطق سردسیری ایفا نماید.

- ۳- نمای ساختمان به عنوان عایق صوتی ایده‌ال و مناسب؛ کاملاً واضح و روشن است که نمای ساختمان نقش بسیار مهمی در کاهش ورود میزان آلودگی‌های صوتی و صداهای آزاردهنده محیط بیرون به فضای داخلی ساختمان‌های اداری و مسکونی و غیره دارد که این مسأله در ابرشهرهای با آلودگی‌های بالای صوتی بیشتر نمود پیدا می‌کند.
- ۴- کمک به افزایش دوام و پایداری ساختمان‌ها در برابر شرایط نامساعد جوی و محیطی، مانند: زلزله، باد، باران اسیدی و رطوبت‌های خورنده، یخبندان، گازهای اسیدی موجود در هوای آلوده شهرهای بزرگ، پرتوهای مضر خورشید مثل اشعه ماوراء بنفش، گرد و خاک‌ها و دوده‌های حاوی مواد شیمیایی و در نتیجه افزایش عمر مفید ساختمان [۱].

از این رو انتخاب مصالح مناسب برای نمای ساختمان که در ضمن سبک بودن، دوام بالایی در برابر شرایط محیطی داشته باشد از اهمیت بالایی برخوردار است.

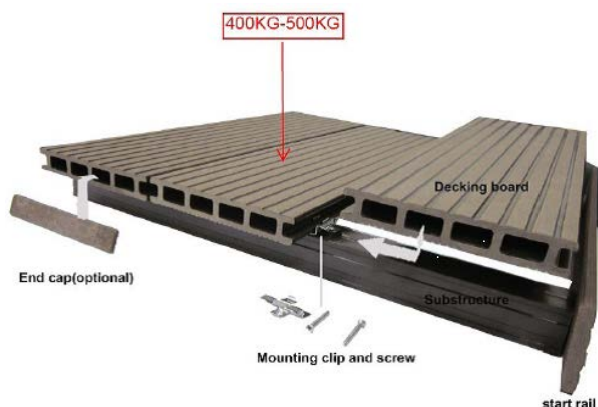
عنوان کامپوزیت‌های چوب پلاستیک (WPC) معمولاً برای مواد یا تولیدات ساخته شده از یک یا چند فیبر طبیعی یا پودر و یک یا مخلوطی از پلیمرها، به کار برده می‌شود. فیبرها و پودرهای طبیعی از منابع گیاهی متفاوت (مانند چوب، کنف، سیسال، کنف هندی مورد استفاده در گونی‌بافی، کنف و برنج) به دست می‌آیند و همه گونه‌های پلیمری (استفاده نشده یا بازیافت شده) مانند پلی وینیل کلراید (PVC)، پلی پروپیلن (PP) و پلی اتیلن (PE) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در دسته‌بندی پلاستیک‌های تقویت‌شده با الیاف و یا گونه خاصی از چوب قرار نمی‌گیرند و باید به عنوان موادی متفاوت با ویژگی‌های اختصاصی خود در نظر گرفته شوند.

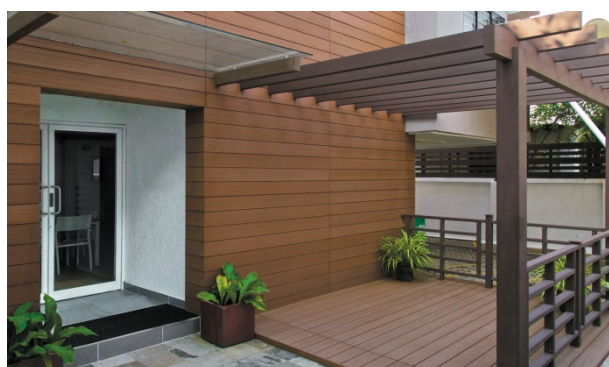
موارد اصلی کاربرد کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در تولید تخته الواری، دیوارپوش، پوشش‌دهنده و مبلمان مخصوص حصارکشی و نرده است. کامپوزیت‌های چوب پلاستیک با روش‌های متفاوتی مانند اکستروژن، قالب‌گیری انتقالی یا قالب‌گیری تزریقی تولید می‌شوند [۲]. محتویات فیبرهای طبیعی و پلیمرهای به کار رفته، به کاربرد و روش‌های مورد استفاده جهت تولید بستگی دارد. مزایای استفاده از کامپوزیت‌های چوب پلاستیک شامل موارد زیر هستند:

- ۱- کاملاً ضد آب و ضد رطوبت هستند.
 - ۲- عایق تمامی اشعه‌های رادیو مغناطیسی، سرما و گرما به شمار می‌روند.
 - ۳- در برابر نفوذ و جذب هرگونه باکتری و میکروب مقاوم هستند.
 - ۴- در شرایط آب و هوایی مختلف انبساط و انقباض ندارند.
 - ۵- با اینکه وزن آن‌ها بسیار سبک است، مقاومت مکانیکی بسیار بالایی دارند.
 - ۶- در برابر نفوذ جانورانی مانند موربانه و مورچه بسیار مقاوم هستند.
 - ۷- دارای ویژگی‌های حرارتی مناسب هستند.
 - ۸- مقاومت به سایش بالا دارند.
- این مواد می‌توانند به شکل دلخواه قالب‌گیری شوند و به لحاظ ظاهری و قابلیت رنگ‌پذیری و پرداخت تنوع زیادی دارند.

دارند. چوب پلاستیک علاوه بر جلوه طبیعی و مطلوب مقاومت بسیار بالایی در برابر انواع شرایط آب و هوایی و خواص مکانیکی مطلوبی دارد. همچنین، دوام طولانی و عمر بالای این محصول باعث می‌شود بدون صرف هزینه مراقبت و تعمیر و نگهداری و اتلاف انرژی به محصولی قابل اطمینان برای استفاده در انواع پروژه‌های ساختمانی تبدیل شود. شکل ۱ پروفیل‌های چوب پلاستیک را پیش و پس از اجرا نشان می‌دهد.



الف- پروفیل‌های چوب پلاستیک پیش از اجرا



ب- پروفیل‌های چوب پلاستیک پس از اجرا

شکل ۱ پروفیل‌های چوب پلاستیک: الف- پیش و ب- پس از اجرا

کامپوزیت‌های چوب پلاستیک در دسته کامپوزیت‌های شامل پلاستیک‌های تقویت‌شده با ذرات چوب قرار می‌گیرند.

کامپوزیت‌های چوب پلاستیک ویژگی‌های هر دو ماده اصلی تشکیل‌دهنده را با هم دارند. سختی و مقاومت این مواد بین چوب و پلاستیک است و چگالی این مواد به طور کلی از هر دوی آنها بالاتر است.

یکی از مزایای بزرگ کامپوزیت‌های چوب پلاستیک این است که می‌توان در تولید آنها از پلاستیک‌های ضایعاتی و خاکاره، پوشال و غیره استفاده کرد.

پلیمرهای مورد استفاده در ساخت کامپوزیت‌های چوب پلاستیک پلیمرهای گرما نرم هستند که شامل طبقه مهمی از مواد هستند که قادرند بدون تغییر در ساختار شیمیایی یا سایر خصوصیات دوباره قالب‌گیری شوند. پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی استایرن و پلی وینیل کلراید مهم‌ترین پلیمرهای گرما نرم هستند. تا زمانی که فرآیندهای تولید، ساختار پلیمرهای گرما نرم را تغییر ندهند، این مواد قابل بازیافت هستند [۸].

ویژگی‌های الزامی و تکمیلی مواد چوب پلاستیک بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۱۹۹۰۵ در جدول ۱ ارائه شده‌اند [۲].

جدول ۱ ویژگی‌های الزامی و تکمیلی مواد چوب پلاستیک

ویژگی‌ها	روش آزمون	کاربرد خارجی	کاربرد داخلی
چگالی	استاندارد ملی ایران به شماره ۷۰۹۰-۱	الزامی	الزامی
دمای تغییر شکل حرارتی	استاندارد ملی ایران به شماره ۶۸۴۵-۱	الزامی	الزامی
مدول خمشی	استاندارد ملی ایران به شماره ۹۲۷۷-۱	الزامی	الزامی
واکشی‌دگی و جذب آب	استاندارد ملی ایران به شماره ۲۴۸۹	الزامی	الزامی
مقاومت در برابر بازیدیوم‌یست‌ها	استاندارد ملی ایران به شماره ۱۸۴۶۳	الزامی	تکمیلی
مقاومت در برابر ریزقارچ‌های فاسدکننده موجود در خاک	CEN/TS 15083-2	الزامی	تکمیلی
مقاومت در برابر ریزقارچ‌های رنگ‌زدا	استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۱۹۴	الزامی	تکمیلی
مقاومت در برابر خزه‌های رنگ‌زدا	PrEN 15458	الزامی	تکمیلی
انبساط حرارتی خطی	استاندارد ملی ایران به شماره ۶۹۸۳	الزامی	تکمیلی

۳- ویژگی‌های پروفیل‌های کامپوزیت چوب پلاستیک مورد استفاده در نمای ساختمان‌ها

کامپوزیت‌های چوب پلاستیک علاوه بر اینکه به لحاظ دوام جایگزین مناسبی برای نماهای چوبی هستند، در حفظ منابع طبیعی نیز تأثیر قابل توجهی

ویژگی های الزامی پروفیل های چوب پلاستیک بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۵-۱۹۹۰۵ در جدول ۲ ارائه شده اند [۹].

جدول ۲ ویژگی های الزامی پروفیل های چوب پلاستیک

ویژگی ها	روش آزمون	الزامات
جرم خطی	EN 15534-1	مقادیر و رواداری باید توسط تولیدکننده مشخص شود.
ضخامت، پهنا و طول	EN 15534-1	مقادیر و رواداری باید توسط تولیدکننده مشخص شود.
انحراف از صافی سطح	EN 15534-1	مقادیر و رواداری باید توسط تولیدکننده مشخص شود.
فنجانی شدن	EN 15534-1	مقادیر و رواداری باید توسط تولیدکننده مشخص شود.
مقاومت به ضربه در برابر سقوط وزنه	EN 15534-1	حداکثر یک آزمون از ده آزمون دچار شکست شود.
خواص خمشی	EN 15534-1	تغییر مکان تحت بار ۲۵۰ نیوتن کمتر یا مساوی ۵ میلی متر
مقاومت در برابر بازیدومیسرها	EN 15534-1	نتیجه آزمون گزارش شود.
مقاومت در برابر هوازدگی مصنوعی	EN 15534-1	معیارهای ظاهری توسط تولیدکننده تعیین شوند.
مقاومت در برابر رطوبت و هوازدگی	EN 15534-1	تغییر مکان تحت بار ۲۵۰ نیوتن کمتر یا مساوی ۶ میلی متر
جذب آب و واکنشیدگی ضخامت	EN 15534-1	مقدار میانگین واکنشیدگی ضخامت در ضخامت: $\geq 10\%$ در پهنا: $\geq 1/15$ در طول: $\geq 0.6\%$ مقدار میانگین جذب آب: $\geq 10\%$ وزنی
ضریب انبساط حرارتی خطی	EN 15534-1	$\leq 50 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

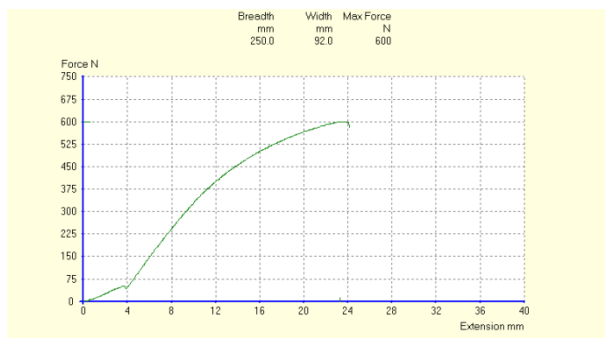
۴- آزمون تعیین خواص خمشی پروفیل های چوب پلاستیک [۱۰]

با توجه به اینکه یکی از ویژگی های الزامی پروفیل های چوب پلاستیک خواص خمشی آنهاست، شرح این آزمون که بر روی نمونه ای از پروفیل کامپوزیت چوب پلاستیک تولید شده در ایران انجام شده است، ارائه می شود. شکل ۲ دستگاه مورد استفاده و نحوه انجام دادن آزمون اندازه گیری مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته را نشان می دهد. برای بررسی مقاومت خمشی و تعیین مدول الاستیسیته نمونه های کامپوزیت چوب پلاستیک، پنج آزمون با ابعاد ارائه شده در جدول ۳ به مدت ۲۴ ساعت در شرایط محیطی با رطوبت ۵۰٪ و دمای 23°C قرار داده شدند و سپس، مورد آزمون مقاومت خمشی با سرعت بارگذاری ۵ mm/min قرار گرفتند.



شکل ۲ دستگاه تعیین خواص خمشی

برای هر پنج آزمون نمودار نیرو نسبت به تغییر مکان به دست آورده شد (شکل ۳) و ماکزیم نیروی اعمال شده به آزمون که موجب شکست آن شد نیز اندازه گیری گردید. بر اساس نمودار مقدار تغییر مکان تحت بار ۲۵۰ نیوتن برای نمونه مورد آزمون به طور متوسط ۸ میلی متر است و مقدار به دست آمده با مقدار قابل قبول آورده شده در جدول ۲ که باید کمتر یا مساوی ۵ میلی متر باشد مقایسه گردید و مشخص شد که نمونه مورد آزمون با معیار الزامی این محصول مطابقت ندارد.



شکل ۳ نمودار نیرو- تغییر مکان

نمونه‌های پروفیل کامپوزیت چوب پلاستیک عرضه شده در بازار انجام شده است، کیفیت مواد چوب پلاستیک مورد استفاده تأثیر قابل توجهی در خواص فیزیکی و دوام این محصول دارد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی مقاومت خمشی این محصول است که در مورد نمونه مورد آزمون در این مقاله با معیارهای استاندارد مطابقت ندارد.

۶- مراجع

- [1] ابراهیمی، ابوالفضل، و همکاران، "نمای ساختمان"، اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های نوین در تمامی شاخه‌های علوم فنی و مهندسی
- [2] استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۹۰۵-۲، کامپوزیت‌های چوب پلاستیک (WPC)- مواد چوب پلاستیک- ویژگی‌ها
- [3] ویسی، کبری، و همکاران، "کامپوزیت چوب پلاستیک و ویژگی‌های کاربردی آن در طراحی نوین ساختمان"، سومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی با رویکرد توسعه پایدار، اردیبهشت ۹۴
- [4] D. Friedrich, A. Luible, Measuring the wind suction capacity of plastics-based cladding using foil bag tests: A comparative study, *Journal of Building Engineering*, Vol 8, p. 152, 2016.
- [5] D. Friedrich, Comparative study on artificial and natural weathering of wood-polymer compounds: A comprehensive literature review, *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 9, p. 196, 2018.
- [6] D. Friedrich, Effects from natural weathering on long-term structural performance of wood-polymer composite cladding in the building envelope, *Journal of Building Engineering*, Vol. 23, p. 68, 2019.
- [7] D. Friedrich, A. Luible, Standard-compliant development of a design value for wood-plastic composite cladding: An application-oriented perspective, *Case Studies in Structural Engineering*, Vol. 5, p. 13, 2016.
- [8] طهرانی دهکردی، مجید، و همکاران، "کامپوزیت چوب پلاستیک، دوستدار محیط زیست"، 2nd International E-Conference on Green Economics, 2015
- [9] استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۹۰۵-۵، کامپوزیت‌های ساخته شده از مواد سلولزی و پلاستیک‌های گرمانرم- قسمت ۵: پروفیل‌ها و صفحه‌های دیوارپوش- ویژگی‌ها
- [10] Composites made from cellulose-based materials and thermoplastics (usually called wood-polymer composites (WPC) or natural fibre composites (NFC)) - Part 1: Test methods for characterisation of compounds and products, BS EN 15534-1, 2014.

مقدار مدول الاستیسیته از طریق رابطه ۱ قابل محاسبه است که در آن E_m مدول الاستیسیته، l_1 فاصله تکیه‌گاه‌ها، F_2-F_1 اختلاف نیرو در دو نقطه نمودار، b عرض آزمونه، h ضخامت آزمونه، a_2-a_1 اختلاف تغییر مکان در F_1 و F_2 هستند.

$$E_m = \frac{l_1^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot (a_2 - a_1)} \quad \text{رابطه ۱}$$

مقدار مقاومت خمشی از رابطه ۲ قابل محاسبه است که در آن σ_m مقاومت خمشی و F_{max} ماکزیمم نیروی اعمال شده به نمونه است که موجب شکستن آن می‌شود.

$$\sigma_m = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_1}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

جدول ۳ ابعاد آزمونه‌ها و نتایج به‌دست آمده از این آزمون را نشان می‌دهد.

جدول ۳ نتایج آزمون

260	$l_2 = (20 \times h) + 100$	طول آزمونه (mm)
90	عرض پروفیل	عرض آزمونه (mm)
8	h	ضخامت آزمونه (mm)
160	$l_1 \geq 100$	فاصله تکیه‌گاه‌ها (mm)
815	E_m	مدول الاستیسیته (N/mm^2)
23	σ_m	مقاومت خمشی (N/mm^2)

۵- نتیجه‌گیری

کامپوزیت‌های چوب پلاستیک یکی از مصالح ارزان و جدید در صنعت ساختمان به‌شمار می‌آیند. کامپوزیت‌های چوب پلاستیک با توجه به اینکه دارای خواصی چون دوستدار محیط زیست، دوام بالا در برابر رطوبت و هوازدگی، شکل‌پذیری خوب، رنگ‌پذیری خوب، مقاومت فشاری بالا، پایداری ابعاد، مقاومت در برابر قارچ‌زدگی و حمله حشرات، ویژگی‌های حرارتی بسیار خوب، قیمت پایین، سرعت اشتعال کم، مدول الاستیسیته بالا و مقاومت به سایش هستند، برای استفاده در نمای ساختمان‌ها نسبت به مصالح مشابه از جمله چوب مناسب‌تر هستند و هزینه تعمیر و نگهداری آن‌ها در بلند مدت نسبت به چوب و فلز کمتر است. علاوه بر ویژگی‌های مذکور، برای کارکردن با کامپوزیت‌های چوب پلاستیک از تجهیزات رایج مورد استفاده در صنایع چوب استفاده می‌شود. با وجود این، در صورتی که محصول مورد استفاده در نمای ساختمان دارای کیفیت لازم نباشد، دارای طول عمر مناسب نیست و بر اثر عوامل محیطی دچار تغییرات ساختاری و ظاهری خواهد شد. بنابراین، ارزیابی محصول پروفیل کامپوزیت چوب پلاستیک بر اساس استانداردهای مربوط و آگاهی از الزامات این محصول به منظور انتخاب محصول دارای دوام مناسب اهمیت بالایی دارد. بر اساس نتایج آزمون‌هایی که بر روی برخی



بهینه‌سازی بخشی از شبکه آبرسانی شهر تهران به روش برنامه‌ریزی غیرخطی و تأثیر آن در کمینه‌سازی نشت به عنوان عاملی تأثیرگذار در مدیریت شهری

علیرضا شاه‌حسینی^۱، محسن نجارچی^{۲*}، محمد مهدی نجفی‌زاده^۳، سید محمد میرحسینی هزاوه^۴، احسان‌الله ضیغمی^۵

۱. مربی، مهندسی عمران - آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد صفادشت، صفادشت

۲. دانشیار، مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک

۳. استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک

۴. استادیار، مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک

۵. استادیار، مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، اراک

* اراک - میدان امام خمینی (ره) - بلوار امام خمینی (ره) - ۳ کیلومتر جاده خمین - شهرک دانشگاهی امیرکبیر، m-najarchi@iau-arak.ac.ir، ۰۹۱۸۸۶۲۱۸۳۶

چکیده

آب مهمترین نیاز اولیه انسان است که منابع تجدید شونده آن بر اثر عواملی مانند افزایش جمعیت و بالا رفتن سطح رفاه و بهداشت، رو به کاهش است. بهره‌برداری بهینه از منابع آب، از اصلی‌ترین چالش‌های ایران به عنوان یکی از کشورهای خشک جهان است. یکی از مهمترین ابزارها در این راستا، بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی به عنوان تأسیساتی زیربنایی است که با گذشت زمان، اجزای شبکه دچار فرسودگی شده و تلفات آب در شبکه با نشت از نقاط دارای فشار زیاد، افزایش می‌یابد. تهران، پایتخت و مهمترین شهر ایران است و حوادث شبکه آبرسانی آن که عمدتاً ناشی از نشت و شکست در لوله‌هاست، یکی از مشکلات بسیار جدی مدیریت این کلانشهر است. شبکه مورد بررسی، بخشی از شبکه آبرسانی شمال غربی تهران است که شبیه‌سازی آن با نرم‌افزار WaterGEMS انجام شده و پس از وارد نمودن داده‌های مختلف مورد نیاز اعم از تراز ارتفاعی و دبی خروجی گره‌ها، مشخصات لوله‌ها و مخزن‌ها، محل شیرهای فشارشکن و غیره، شرایط موجود شبکه بررسی و محل نقاط بحرانی (نقاطی که به دلیل فشار بیش از حد، احتمال شکست لوله یا نشت در آنها زیاد است) مشخص شده و سپس با استفاده از نتایج شبیه‌سازی به عنوان ورودی مدل بهینه‌سازی مبتنی بر برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP)، شبکه از نظر توزیع فشار بهینه‌سازی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش به کار رفته برای بهینه‌سازی، باعث بهبود توزیع فشار و کاهش پتانسیل نشت شبکه شده و در مقایسه با مدل شبیه‌سازی، هزینه کل لوله‌ها، در حدود 8.12 درصد کاهش یافته است.

کلیدواژگان

بهینه‌سازی، شبکه آبرسانی تهران، نشت، NLP

Optimization of a Part of Tehran Water Supply Network by Non-Linear Programming Method and its Effect on Leakage Minimization as an Effective Factor in Urban Management

Alireza Shahhosseini¹, Mohsen Najjarchi^{2*}, Mohammad Mahdi Najafizadeh³, Mohammad Mirhosseini Hezaveh⁴, Ehsanollah Zeighami⁵

1. Ph.D. Candidate of Water Engineering, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

2. Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

3. Department of Mechanical Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

4. Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

5. Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

* Islamic Azad University, Arak Branch, 3rd km of Khomein road, Imam Khomeini Square, Arak, Iran, m-najarchi@iau-arak.ac.ir

Abstract

Water is the most important basic human need, and its renewable resources are declining due to factors such as population growth and rising levels of welfare and health. Optimal utilization of water resources is one of the main challenges of Iran as one of the arid countries in the world. One of the most important tools in this regard is the optimization of water distribution networks as infrastructure facilities that over time, network components wear out and water losses in the network increase with leakage from high pressure points. Tehran is the capital and the most important city of Iran and the accidents of its water distribution network, which are mainly due to leaks and failures in pipes, is one of the most serious problems of the management of this metropolis. The study network is a part of water distribution network in the northwest of Tehran, which is simulated with WaterGEMS software and after entering the required data such as height level and output flow of nodes, specifications of pipes and tanks, location of pressure relief valves, etc., the existing conditions of the survey network and the location of critical points (points where the probability of pipe failure or leakage is high due to excessive pressure) are determined and then using the simulation results input to the optimization model based on nonlinear programming (NLP), the network is optimized in terms of pressure distribution. The results show that the method used for optimization improves the

pressure distribution and reduces the leakage potential of the network and compared to the simulation model, the total cost of pipes is reduced by about 8.12%.

Keywords

Optimization, Tehran Water Distribution Network, Leakage, NLP

۱- مقدمه

برای آماده‌سازی رشد جمعیت، توسعه شهرها، کاهش منابع آب در دسترس، تغییر توزیع جمعیت در مناطق مختلف کشورها و تغییرات اقلیمی، از جمله چالش‌های فراوری سیستم‌های تأمین آب در تمام دنیا به ویژه مناطق خشک و نیمه خشک هستند [1]. ارزیابی بازده آب بخش مهمی از مدیریت منابع آب برای به دست آوردن منابع آب پایدار است [2]. افزایش جمعیت توأم با توسعه بسیار چشمگیر شهر تهران، تقاضای آب را به میزان بسیار زیادی افزایش داده است. بنابراین، افزایش کارایی شبکه تأمین آب، اجتناب‌ناپذیر است و بهینه‌سازی یکی از بهترین روش‌ها برای دستیابی به این هدف است. از سوی دیگر، تلفات آب یکی از مهمترین مسائل در مدیریت شبکه‌های آبرسانی است و در تمام شبکه‌ها مقدار زیادی از آب به دلیل نشت‌ها و شکستگی لوله‌ها از دست می‌رود [3]. مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که تلفات آب در کشورهای در حال توسعه بین 40 تا 60 درصد و در کشورهای توسعه‌یافته در حدود 35 درصد است. بنابراین، کاهش نشت در شبکه‌های آبرسانی یکی از مهمترین چالش‌ها برای شرکت‌های آب به خصوص در شبکه‌های قدیمی‌تر و در مناطق با فشار خدمات بالاست [4]. از آنجا که شبکه‌ها شامل هزاران جزء مانند لوله‌ها، گره‌ها، مخازن، پمپ‌ها، دریچه‌ها و غیره هستند، اغلب رفتار غیرخطی دارند [5]. تابش و ضیا از تحلیل عملکرد هیدرولیکی برای مدیریت دینامیکی شبکه استفاده کرده‌اند [6]. فشار به طور مستقیم با تعداد ترکیدگی لوله‌ها و نشت در شبکه مرتبط است و بنابراین، یک متغیر حساس و مهم در شبکه است [7]. مدیریت فشار و دبی (PDM) یکی از مؤثرترین راه‌های افزایش بهره‌وری، کاهش نشت و غلبه بر پیچیدگی شبکه است [8] که ممکن است نیازمند فعالیت‌های زیادی مانند استفاده از شیرهای فشارشکن (PRV) و کنترل پمپ باشد [9]. سلطان جلیلی و همکاران روشی برای تجزیه و تحلیل هیدرولیکی شبکه و ارائه یک رابطه واقعی فشار و تقاضای واقعی در شرایط شکست را ارائه نمودند [10]. در میان توابع هدف مختلف از قبیل کمینه‌سازی نشت کل یا کمینه‌سازی فشار مازاد در گره‌ها، روش اخیر منجر به نتایج بهتری برای بهره‌وری شبکه می‌شود [11, 12]. بلوتی و همکاران دو طیف گسترده از روش‌های حل برنامه‌ریزی غیرخطی با عدد صحیح مختلط (MINLP¹) ارائه دادند: روش تک درختی و روش چند درختی [13]. پچی و همکاران یک حل‌کننده مستقیم و دو روش با فرمول‌بندی جدید برای MINLP ها ارائه داده‌اند که دنباله‌هایی از توالی NLP های معمولی را حل می‌کنند [14]. لیانگ و همکاران یک مدل محدب برای طراحی مطلوب شبکه‌های آبرسانی با استفاده از MINLP پیشنهاد دادند که در آن معادلات افت هد با فرمول‌بندی جدید به نابرابری‌های محدب تبدیل شده‌اند [15]. خیمزن و همکاران روشی برای تعیین محل نشت در شبکه با استفاده از اندازه‌گیری دبی جریان ارائه دادند [16]. هدف این مطالعه، مقایسه نتایج مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی بخشی از شبکه آبرسانی شهر تهران (با استفاده از نرم‌افزار WaterGEMS) با مدل بهینه‌سازی غیرخطی (شامل تابع هدف و محدودیت‌ها) است. سپس، با مقایسه نتایج به‌دست آمده از این دو روش، شرایط بهینه شبکه برای مدیریت فشار در

شبکه به منظور کمینه‌سازی نشت، ارائه خواهد شد. نشت و شکست لوله‌ها مشکلات بسیار زیادی برای مدیریت شهری ایجاد می‌نماید که مهمترین آنها عبارت‌اند از: صرف هزینه‌های بسیار زیاد برای تعمیر خط لوله آسیب‌دیده، مشکلات ترافیکی ناشی از عملیات حفاری و مرمت شبکه، قطعی چند ساعته آب در محدوده لوله آسیب‌دیده. بدیهی است هرچه لوله آسیب‌دیده اهمیت بیشتری داشته باشد، شدت و گستردگی مشکلات ایجاد شده برای مدیریت شهری، بیشتر خواهد بود. بنابراین، کمینه‌سازی نشت، تأثیر قابل‌توجهی در کاهش مشکلات مدیریت شهری خواهد داشت.

۲- الگوسازی نظری

۲-۱- شبیه‌سازی هیدرولیکی

نرم‌افزار WaterGEMS، نرم‌افزاری است بسیار کارآمد برای شبیه‌سازی شبکه‌های آبرسانی و یکی از توانمندی‌های قابل‌توجه آن، انجام دادن تحلیل رابطه فشار-دبی در شبکه (PDD²) است که در آن، دبی تابعی است از فشار. تحلیل رابطه فشار-دبی را می‌توان به دو صورت انجام داد: الف) با استفاده از روابط فشار-دبی به صورت تابعی توانی ب) با استفاده از منحنی فشار-دبی متشکل از قطعات خطی. نمونه‌ای از توابع توانی به صورت زیر است [17]:

$$Q_i^s = \begin{cases} 0 & P_i \leq 0 \\ \left(\frac{P_i}{P_{ri}} \right)^\alpha & 0 \leq P_i \leq P_t \\ \left(\frac{P_t}{P_{ri}} \right)^\alpha & P_i \geq P_t \end{cases} \quad (1)$$

که در آن:

P_i : فشار محاسبه شده در گره i

Q_{ri} : دبی مورد نیاز در گره i

Q_i^s : دبی محاسبه شده در گره i

P_{ri} : فشار مرجع که انتظار می‌رود دبی مورد نیاز در گره i را به‌طور کامل تأمین کند.

P_t : فشار آستانه که برای مقادیر بیشتر از آن، دبی مستقل از فشار گرهی است.

α : ضریب رابطه فشار-دبی که معمولاً برابر با 0.5 در نظر گرفته می‌شود [18].

در WaterGEMS، مدل‌سازی جریان و نشت در لوله‌ها امکان‌پذیر است و نشت با استفاده از یک ضریب تخلیه و شاخص فشار محاسبه می‌شود. در این حالت، دبی در هر گره تابعی است از فشار آن گره و از رابطه زیر به دست می‌آید [19]:

$$Q_i = C_i P_i^\gamma \quad (2)$$

² Pressure Dependent Demand (PDD) Analysis

¹ Mixed Integer Non-Linear Programming

که در آن C_i ضریب دبی است که به ویژگی‌های گره i بستگی دارد، P_i فشار در گره i و γ توان بدون بعد مربوط به فشار است. مقدار پیش فرض برای γ برابر است با 0.5 که مقداری است متداول برای یک روزنه (اریفیس). برای جریان ناشی از ترکیبگی لوله با فرض مساحت مقطع ثابت برای روزنه، γ را می‌توان برابر با 0.5 در نظر گرفت. ولی مقدار آن می‌تواند بین 0.5 تا 2.5 تغییر کند [20]. در این تحقیق، بر مبنای موارد مطرح شده در مرجع [21]، مقدار آن ثابت و برابر با 1.18 در نظر گرفته شده است. C_i تابعی است از نشت، فشار در گره و طول لوله و مقدار آن بین 0.5 و 1 متغیر است [22]. در این تحقیق با توجه به موارد مطرح شده در مرجع [22] و در نظر گرفتن مشخصات شبکه آبرسانی، مقدار آن برابر با 0.7 در نظر گرفته شده است.

برای شرایط مختلف در شبکه، سناریوهای محتمل شامل سناریوی ساعتی، روزانه، و سناریوی شبیه‌سازی مصرف در ساعات مختلف شبانه‌روز (EPS^1) در نظر گرفته شده‌اند. سناریوی ساعتی با اعمال ضریبی افزایشی به دبی‌های پایه و سناریوی روزانه با اعمال ضریبی افزایشی به سناریوی ساعتی بدست می‌آیند که مقدار این ضرایب افزایشی می‌تواند یکسان یا متفاوت باشد. در این تحقیق، با توجه به الگوی مصرف حاکم بر شبکه آبرسانی تهران، این ضرایب یکسان و مقدار آنها برابر با 1.3 در نظر گرفته شده است. سناریوی EPS با اعمال ضرایب افزایشی یا کاهشی (برای ساعات مختلف شبانه‌روز) به دبی پایه به‌دست می‌آید.

۲-۲- مدل بهینه‌سازی

در این تحقیق، از یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی برای کمینه‌سازی نشت از طریق مدیریت فشار در شبکه مورد بررسی، استفاده نموده‌ایم. فشار در هر لوله برابر است با میانگین فشار در دو گره انتهایی آن. کاهش فشار در گره‌ها باعث کاهش نشت در شبکه خواهد شد. تابع هدف پیشنهادی برای شبکه مورد بررسی، در رابطه 3 معرفی شده است:

$$Z = B \sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^k C_i L_i \left\{ \phi(E_{ij}, Q_{ij}, El_{1j}, El_{2j}, \dots, El_{nj}) \right\}^\eta \quad (3)$$

قیود و محدودیت‌های مسئله عبارت‌اند از:

$$P_{ij} = \phi(E_{ij}, Q_{ij}, El_{1j}, El_{2j}, \dots, El_{nj}) \quad (4)$$

$$\sum_{m=1}^n V_{mj+1} = \sum_{m=1}^n V_{mj} + \sum_{m=1}^n I_{mj} - QT_j \quad (5)$$

$$P_{\min} < P_{ij} < P_{\max} \quad (6)$$

$$\sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^h I_{mj} < I_{day} \quad (7)$$

که در این روابط:

B : ضریب جریمه که در این تحقیق برابر با 10^4 در نظر گرفته شده است.

C_i : ضریب ثابت رابطه فشار-نشت در گره i ام

L_i : طول لوله i ام

h : تعداد ساعات در نظر گرفته شده در دوره عملکرد مورد نظر

i : شماره گره در شبکه که از 1 تا k تغییر می‌کند.

n : تعداد مخازن ذخیره در شبکه

z : اندیس زمان در دوره عملکرد مورد نظر که از 1 تا h تغییر می‌کند.

m : اندیس مخزن ذخیره

El_i : تراز گره i ام (متر)

Q_{ij} : دبی مورد نیاز در گره i ام در ساعت j ام (لیتر بر ثانیه)

El_{mj} : هد مخزن m ام در ساعت j ام

η : توان فشار در رابطه فشار-نشت که مقدار آن ثابت و برابر با 1.18 در

نظر گرفته شده است [21].

P_{ij} : فشار در گره i ام در ساعت j ام

V_{mj} : حجم آب در مخزن m ام در ساعت j ام (متر مکعب)

QT_j : دبی کل مورد تقاضا در ساعت j ام (متر مکعب بر ساعت)

Q_{mj} : دبی خروجی از مخزن m ام در ساعت j ام (لیتر بر ثانیه)

$P_{\min}$: فشار کمینه مورد نیاز در هر گره (متر)

$P_{\max}$: فشار بیشینه مجاز در هر گره (متر)

I_{mj} : دبی ورودی به مخزن m ام در ساعت j ام

I_{day} : مقدار بیشینه آب مورد نیاز روزانه (متر مکعب)

تابع هدف ارائه شده در رابطه 3 در شرایطی که قیود آن برآورده نشوند، در یک ضریب جریمه (که عددی است بزرگ در حدود 10^4) ضرب می‌شود تا از جواب‌های غیرمنطقی یا غیربهینه پرهیز شود. فشار در هر گره از مدل شبیه‌سازی (نرم‌افزار WaterGEMS) به دست می‌آید و تابعی است از تراز ارتفاعی گره، دبی مورد تقاضا، و تراز سطح آب در هر مخزن. آب ورودی روزانه به مخازن و فشارهای گره‌ها، الگوریتم پیشنهادی را محدود می‌کنند. در این مطالعه، نقاط نشت احتمالی (گره‌هایی با فشار بیش از حداکثر مجاز) توسط مدل شبیه‌سازی مشخص می‌شوند و سپس، برای رسیدن به وضعیت بهینه، با تغییر جنس و قطر برخی لوله‌ها در مدل بهینه‌سازی غیرخطی، فشار کنترل می‌شود.

۳- مطالعه موردی: بخشی از شبکه آبرسانی شهر تهران

تهران، پایتخت ایران، شهری است با جمعیتی در حدود 8.9 میلیون نفر [24] که بیش از 700 کیلومتر مربع وسعت دارد و بین طول‌های جغرافیایی $51^\circ 4'$ شرقی تا $51^\circ 47'$ شرقی و بین عرض‌های جغرافیایی $35^\circ 31'$ شمالی تا $35^\circ 57'$ شمالی قرار گرفته [25] و به لحاظ سیاسی، اجتماعی و اقتصادی مهمترین و پرجمعیت‌ترین شهر ایران است. از این رو، مدیریت مؤثر شبکه گسترده آب آن که دارای مخازن متعدد و هزاران لوله، پمپ و دریچه و غیره است، برای عملیات شهری مناسب و جلوگیری از چالش‌های اجتماعی و سیاسی در تهران ضروری است. با توجه به عدم امکان دسترسی به اطلاعات کل شبکه آبرسانی تهران، بخشی از شبکه آبرسانی تهران واقع در شمال غربی تهران برای استفاده در مدل شبیه‌سازی و مدل بهینه‌سازی انتخاب شد و نهایتاً نتایج این مدل‌ها مقایسه گردید. شکل 1 محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

¹ Extended Period Simulation

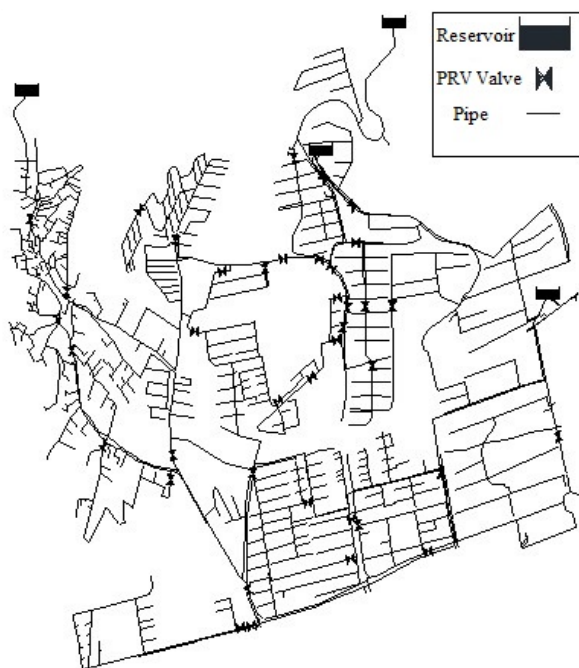


Fig. 2 Model created in Water GEMS software to simulate the study area

شکل ۲ مدل ایجاد شده در نرم‌افزار Water GEMS برای شبیه‌سازی محدوده مورد مطالعه



Fig. 1 Location of the studied part of Tehran Water Distribution Network (WDS)

شکل ۱ موقعیت بخش مورد مطالعه از شبکه آبرسانی شهر تهران

شبکه انتخاب شده، واقع در شمال غرب تهران با مساحتی در حدود 546 هکتار و جمعیتی در حدود 180000 نفر را پوشش می‌دهد و شامل 1124 لوله و 988 گره است و آب را به صورت ثقلی از 4 مخزن تأمین می‌کند.

۳-۱- مدل شبیه‌سازی

بهینه‌سازی شبکه موردنظر با استفاده از نرم‌افزار Water GEMS v8 انجام شده که یکی از کارآمدترین نرم‌افزارهای موجود در این زمینه است. دیده شد که در بین سناریوهای به کار رفته برای شبیه‌سازی، EPS سناریوی حاکم بر شبکه است و مقدار بیشینه و کمینه دبی در این سناریو به ترتیب 822.7 (در ساعت 4 بعدازظهر) و 421.8 لیتر بر ثانیه (در ساعت 4 صبح) است. در شکل 2، مدل ایجاد شده در نرم‌افزار Water GEMS برای شبیه‌سازی محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.

شکل 3 تغییرات دبی جریان در سناریوی EPS را در ساعات مختلف شبانه‌روز نشان می‌دهد. در شکل 4، حداکثر فشار شبکه در مدل شبیه‌سازی برای سناریوهای مختلف مقایسه شده است. بیشینه مقدار فشار در گره‌ها برابر با 91 متر در سناریوی EPS است. مقایسه بین شکل‌های 3 و 4 نشان می‌دهد که حداکثر فشار زمانی رخ می‌دهد که تقاضای جریان حداقل باشد و بالعکس. فشار بیشینه مجاز بر اساس استانداردهای منطقه‌ای برای طراحی شبکه آب، 60 متر است. همچنین، میانگین دبی پایه مورد تقاضا در این شبکه در حدود 495.3 لیتر بر ثانیه است. با توجه به ویژگی‌های اصلی لوله‌ها و کیفیت آب، ضریب زبری لوله‌ها (ضریب هیزن ویلیامز) بر مبنای مرجع [26] برآورد گردید.

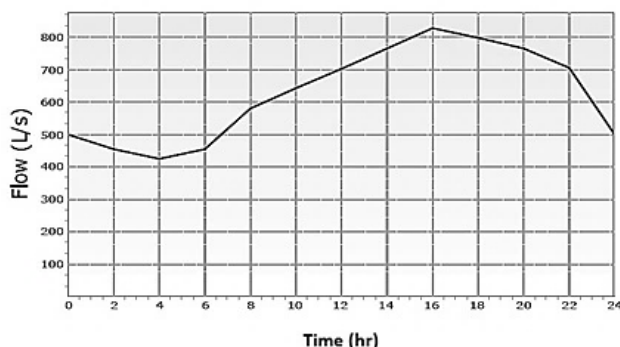


Fig. 3 Flow changes in the EPS scenario at different times of the day

شکل ۳ تغییرات دبی جریان در سناریوی EPS در ساعات مختلف شبانه‌روز

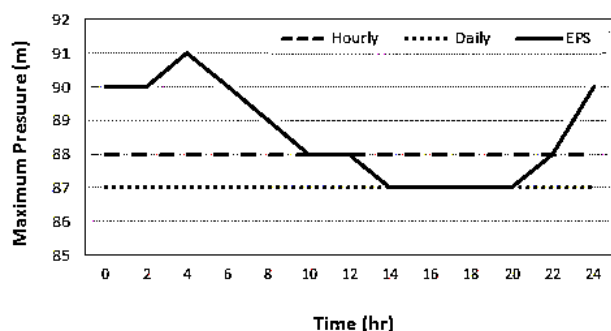


Fig. 4 Maximum network pressure in the simulation model for different scenarios

شکل ۴ حداکثر فشار شبکه در مدل شبیه‌سازی برای سناریوهای مختلف

جدول ۱ مقایسه مشخصات شبکه در مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی

Table 1 Comparison of network specifications in simulation and optimization models

مدل بهینه‌سازی (NLP)	مدل شبیه‌سازی	مشخصه
چدن نشکن (DI)	چدن نشکن (DI)	جنس لوله‌ها
چدن نشکن (DI)	پلی اتیلن (PE)	
پلی اتیلن (PE)	فولادی (Steel)	
	پی وی سی (PVC)	
92.8, 150, 200, 300, 400, 500, 700	92.8, 100, 141, 150, 176, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900	قطر لوله‌ها (میلی‌متر)
77	91	فشار بیشینه (متر)
472.10	541.74	هزینه کل لوله‌ها (۱۰ ^۹ ریال)
+12.85	-----	تغییر سود (درصد)

۴- نتایج و بحث

در این تحقیق، بخشی از شبکه آبرسانی تهران در نرم‌افزار Water GEMS شبیه‌سازی شده و سپس، با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP) مدل بهینه‌سازی شبکه موردنظر ایجاد شده و به منظور همگرایی سریعتر، مقادیر به دست آمده برای پارامترهای شبکه در مدل شبیه‌سازی، به عنوان ورودی‌های مدل بهینه‌سازی به کار رفته‌اند. نتایج حاصل از مقایسه این دو مدل عبارتند از:

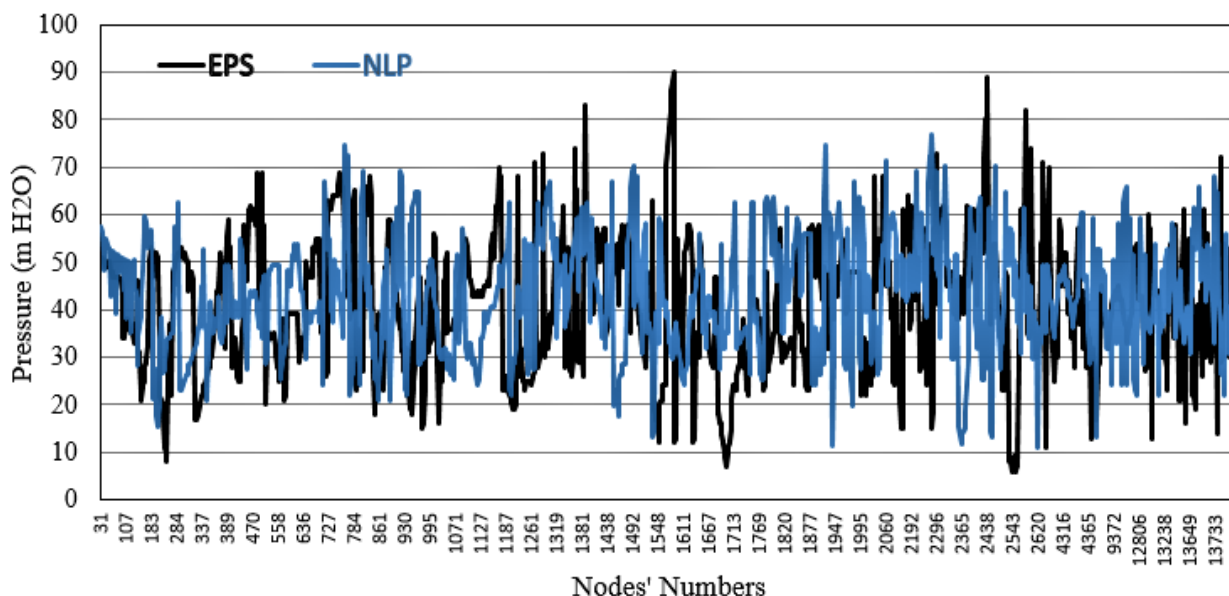
۴-۱- مدل NLP با تابع هدف مشخص شده و قیود مربوط به آن و با در نظر گرفتن متغیرهایی شامل فشار در گره‌ها، جنس و قطر لوله‌ها، منجر به دستیابی به نتایجی بهتر و شبکه‌ای اقتصادی‌تر شده است.

در شکل ۴، دیده می‌شود که بیشترین مقدار فشار در شبکه، در سناریوی EPS رخ می‌دهد. بنابراین، سناریوی EPS، سناریوی غالب است و به همین دلیل، به منظور همگرایی سریعتر، نتایج آن را به عنوان داده‌های ورودی برای روش بهینه‌سازی غیرخطی به کار برده‌ایم.

۳-۲- مدل بهینه‌سازی

در این تحقیق، بهینه‌سازی به روش برنامه‌ریزی غیرخطی با عدد صحیح مختلط (MINLP) انجام شده که به طور عمده چالش برانگیز هستند و برای حل آنها از چندین روش استفاده شده است. در شبکه‌های آبرسانی، از آنجا که مسأله غیر محدب است، تمام روش‌ها با مفروضات مناسب فقط به نقاط مینیمم محلی همگرا هستند و کیفیت راه حل بستگی به نقطه‌ای اولیه دارد. بنابراین، این موضوع باید در مقایسه بین رویکردهای مختلف، در نظر گرفته شود [14]. بنابراین، اگر یک راه حل با چند حدس اولیه تصادفی به دست آید و فشار متوسط را نزدیک به جواب بهینه ارائه دهد، می‌تواند قابل قبول باشد. برای انجام بهینه‌سازی تابع هدف به روش غیرخطی، از نرم‌افزار Lingo استفاده شده و به منظور همگرایی سریعتر، مقادیر به دست آمده برای پارامترهای شبکه در سناریوی EPS در مدل شبیه‌سازی، به عنوان ورودی‌های مدل بهینه‌سازی به کار رفته است. در جدول ۱، جزئیات لوله‌ها، حداکثر فشار و هزینه کل لوله‌ها در مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی، مقایسه شده است. دیده می‌شود که قطر لوله‌ها از ۱۵ اندازه مختلف قطر در مدل شبیه‌سازی، به ۷ اندازه مختلف در روش NLP کاهش یافته است. به علاوه، هزینه کل لوله‌ها در روش NLP، حدود ۸.۱۲ درصد کمتر از مدل شبیه‌سازی است.

در شکل ۵، فشار در گره‌ها در مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی NLP مقایسه شده‌اند. این مقایسه نشان می‌دهد که در مدل NLP حداکثر فشار گره‌ها در حدود ۱۵.۳۸ درصد کاهش یافته است. علاوه بر این، شکل ۵ نشان می‌دهد که روش NLP نوسانات فشار را در گره‌ها کاهش می‌دهد و بنابراین،



خطر شکست لوله‌ها کمتر خواهد بود.

Fig. 5 Mean and maximum network pressure in the simulation model for different scenarios

شکل ۵ مقایسه نوسانات فشار در گره‌ها بین مدل شبیه‌سازی و مدل بهینه‌سازی NLP

- [3] M. Farley, S. Trow, "Losses in water distribution networks", IWA Publishing, London, 2003.
- [4] R. Gomes, J. Sousa, A. S. Marques, "The influence of pressure/leakage relationships from existing leaks in the benefits yielded by pressure management", *Water Utility Journal*, 5: pp. 25-32, 2013.
- [5] R. Burrows, G. S. Crowder, J. Zhang, "Utilization of network modelling in the operational management of water distribution systems", *Urban Water*, 2 (2), pp. 83-95, June, 2000.
- [6] M. Tabesh, A. Zia, "Dynamic management of water distribution networks based on hydraulic performance analysis of the system", *Water Science and Technology: Water Supply*, 3 (1), pp. 95-102, March, 2003.
- [7] A. Lambert, "What do we know about pressure: leakage relationships in distribution systems?", Iwa Conference on "System Approach To Leakage Control and Water Distribution Systems Management", 2001.
- [8] S. Hajebi, S. Temate, S. Barrett, A. Clarke, S. Clarke, "Water distribution network sectorization using structural graph partitioning and multi-objective optimization", 16th Conference on Water Distribution System Analysis, WDSA 2014 Procedia Engineering, 89, pp. 1144 - 1151, 2014.
- [9] D. J. Vicente, L. Garrote, R. Sánchez, D. Santillán, "Pressure management in water distribution systems: current status, proposals, and future trends", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142 (2), pp. 1-13, October, 2015.
- [10] M. Soltanjalili, O. Bozorg Haddad, S. Seifollahi Aghmiuni, M. A. Mariño, "Water distribution network simulation by optimization approaches", *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(4), pp. 1063-1079, August, 2013.
- [11] K. Vairavamoorthy, J. Lumbers, "Leakage reduction in water distribution systems: Optimal valve control", *Journal of Hydraulic Engineering*, 124 (11), pp. 1146-1154, 1998.
- [12] H. E. Mutikanga, S. K. Sharma, K. Vairavamoorthy, "Methods and tools for managing losses in water distribution systems", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139 (2), pp. 166-174, March, 2013.
- [13] P. Belotti, C. Kirches, S. Leyffer, J. Linderoth, J. Luedtke, A. Mahajan, "Mixed-Integer Nonlinear Optimization", supported by the office of advanced scientific computing research, Office of Science, U.S. Department of Energy, under contract DE-AC02-06CH11357, Preprint ANL/MCS-P3060-1121, November 22, 2012.
- [14] F. Pecci, E. Abraham, L. Stoianov, "Mathematical programming methods for pressure management in water distribution systems", 13th Computer Control for Water Industry Conference, CCWI 2015, Procedia Engineering, 119, pp. 937 - 946, September, 2015.
- [15] Y. Liang, E. Pahija, C. W. Huia, "Convex Model for Global Optimization of Water Distribution System", Proceedings of the 26th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, Volume 38, pp. 493-498, 2016.
- [16] J. Jimenez-Cabas, E. Romero-Fandino, L. Torres, M. Sanjuan, R. F. Lopez-Estrada, "Localization of leaks in water distribution networks using flow readings", IFAC Papers OnLine, 51 (24), pp. 922-928, January, 2018.
- [17] Z. Y. Wu, T. Walski, "Pressure Dependent Hydraulic Modelling for Water Distribution Systems under Abnormal Conditions", IWA World Water Congress and Exhibition, 10-14, Beijing, China, September, 2006.
- [18] J. Muranho, A. Ferreira, J. Sousa, A. Gomes, A. Sa Marques, "Pressure-dependent demand and leakage modelling with an EPANET extension-Water Net Jen", 16th conference on water distribution analysis, WDSA 2014, procedia engineering, 89, pp. 632 - 639, 2014.
- [19] S. Nazif, M. Karamouz, M. Tabesh, A. Moridi, "Pressure management model for urban water distribution networks", *Water Resources Management*, 24(3), pp. 437-458, DOI: 10.1007/s11269-009-9454-x, February, 2010.
- [20] A. Lambert, "Pressure management/leakage relationships: theory, concepts and practical applications" In: Proceedings of minimizing leakage in water supply/distribution systems, IQPC Seminar, London, April, 1997.
- [21] G. Germanopoulos, "A technical note on the inclusion of pressure dependent demand and leakage terms in water supply network models", *Civil Engineering Systems*, 2, pp. 171-179, September, 1985.

۴-۲- مدل NLP نوسانات فشار در گرہ‌ها را نسبت به مدل شبیه‌سازی کاهش داده است. همچنین، بیشینه فشار در گرہ‌ها نیز در مدل بهینه‌سازی ۱۵/۳۸ درصد کاهش یافته که باعث کاهش نشت و افزایش بهره‌وری شبکه خواهد شد.

۴-۳- هزینه کل لوله‌ها در مدل NLP، ۱۲/۸۵ درصد کمتر از مدل شبیه‌سازی است.

۴-۴- مدل بهینه‌سازی، شبکه مورد بررسی را با تغییر قطر و جنس برخی لوله‌ها (از بین قطره‌های تجاری تعیین شده و جنس‌های مشخص شده در نرم‌افزار) بهینه نموده است. پس از بهینه‌سازی، تعداد اندازه (قطر) لوله‌ها از ۱۵ اندازه (در مدل شبیه‌سازی) به ۷ اندازه کاهش یافته‌اند. همچنین جنس لوله‌ها از چهار نوع در مدل شبیه‌سازی (چدن نشکن، پلی اتیلن، فولادی، و پی وی سی) به دو نوع (چدن نشکن و پلی اتیلن) کاهش یافته‌اند.

۴-۵- با وجود بهبود شرایط شبکه در روش NLP، به دلیل اینکه فشار بیشینه به دست آمده در این روش بیش از مقدار مجاز (تعریف شده به عنوان یکی از قیود مسأله) است، به جواب بهینه مطلق نرسیده‌ایم و می‌توان گفت به جوابی نزدیک به جواب بهینه دست یافته‌ایم.

۴-۶- نشت و شکست لوله‌ها مشکلات بسیار زیادی برای مدیریت شهری ایجاد می‌نماید که مهمترین آنها عبارت‌اند از: صرف هزینه‌های بسیار زیاد برای تعمیر خط لوله آسیب‌دیده، مشکلات ترافیکی ناشی از عملیات حفاری و مرمت شبکه، و قطعی چندساعته آب در محدوده لوله آسیب‌دیده. بدیهی است هرچه لوله آسیب‌دیده اهمیت بیشتری داشته باشد، شدت و گستردگی مشکلات ایجاد شده برای مدیریت شهری، بیشتر خواهد بود. بنابراین، کمینه‌سازی نشت، تأثیر قابل‌توجهی در کاهش مشکلات مدیریت شهری خواهد داشت.

۴-۷- پیشنهاد می‌شود تا با برگزاری جلسات مستمر با مدیران شهری، لزوم انجام دادن چنین تحقیقاتی در تمام مناطق شهر تهران و سپس، یکپارچه‌سازی نتایج تحقیقات انجام شده را برای مدیران تبیین نمود. بدیهی است اجرای چنین تحقیق جامعی برای کلانشهر تهران یکی از ضروریات مدیریت شهری است که باعث افزایش بهره‌وری شبکه و کاهش مشکلات ناشی از شکست لوله‌ها در شهر خواهد گردید و صرفه‌جویی چشمگیری در هزینه‌های مدیریت شهری را در پی خواهد داشت.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از مسؤولان و کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای تهران و وزارت نیرو به دلیل ارائه داده‌های موردنیاز برای انجام دادن این تحقیق و از مسؤولان دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک به دلیل همکاری بسیار صمیمانه و هماهنگی‌های لازم برای اجرای این تحقیق، سپاسگزاری نمایند.

۶- مراجع

- [1] World Health Organization (WHO), "Drinking Water", <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>, February 7, 2018.
- [2] H. Mahsifar, M. Najarchi, M. M. Najafzadeh, M. Mirhoseini Hezaveh, "Conjunctive effect of water productivity and cultivation pattern on agricultural water management", *Water Science and Technology: Water Supply*, 17 (6), pp. 1515-1523, December, 2017.

- [22] M. Tabesh, A. H. Asadiyani Yekta, R. Burrows, "An integrated model to evaluate losses in water distribution systems", *Water Resources Management*, 23 (3), pp. 477–492, February, 2009.
- [23] Z. Y. Wu, R. H. Wang, T. M. Walski, S. Y. Yang, D. Bowdler, C. Baggett, "Efficient Pressure Dependent Demand Model for Large Water Distribution System Analysis", *proceedings of the 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium*, Cincinnati, Ohio, USA, 27-30, Cincinnati, USA: University of Cincinnati: ISBN: 978-0-7844-0941-1, August, 2006.
- [24] United Nations, UN Data, "Popular statistical tables, country (area) and regional profiles", Iran (Islamic Republic of), <http://data.un.org/en/iso/ir.html>, 2018.
- [25] Tehran municipality, Information and communication technology organization, "TehranStatisticalYearBook", http://tmicto.tehran.ir/Portals/0/Document/Amarname/NEW_PDF/AmarShahr/96-TehranStatisticalYearBook.pdf, in Persian, 2017.
- [26] K. Behzadian, A. Ardeshtir, "Optimal Sampling Design for Model Calibration Using Genetic Algorithm: a Case Study", *IWA World Water Congress and Exhibition*, Austria, 3rd - 5th Sep, 2007.



بررسی تأثیر مواد شیمیایی آنتی اسکالانت بر جلوگیری از رسوب در سیستم‌های گرمایش و

سرمایش

آسیه عطاردی کاشانی^{۱*}، مهدی تیموری^۲

۱. استادیار، شیمی آلی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران

۲. کارشناسی ارشد، شیمی آلی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران

* تهران، صندوق پستی ۱۳۱۴۵۱۶۹۶، a.otaredi@yahoo.com

چکیده

در این طرح مقرر شد تا تأثیر برخی آنتی اسکالانت‌ها در جلوگیری از رسوب و خوردگی در مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای بررسی شود. بدین منظور، دستگاه آزمون شامل یک مبدل حرارتی صفحه‌ای فشرده جریان مخالف نصب شده در مدارهای بسته گرمایشی و سرمایشی طراحی گردید. در اینجا، معیار میزان تشکیل رسوب، تغییرات میزان تبادل حرارت مبدل ($LMTD$)، مقاومت حرارتی رسوب (R_f) و میزان افت فشار دو سر مبدل به صورت زمانی در نظر گرفته شد. بنابراین، پارامترهای دما، فشار و دبی سیال عبور داده شده از مبدل در زمان مورد مطالعه اندازه‌گیری شده‌اند. این مطالعه در سه مرحله: ۱- مدار گرمایشی شامل آب سخت و مدار سرمایشی شامل آب مقطر، ۲- مدار گرمایشی شامل آب سخت و مواد آنتی اسکالانت و مدار سرمایشی شامل آب مقطر انجام شد و R_f و $LMTD$ برای هر سه حالت به دست آمد. در مرحله اول که از مواد ضد رسوب استفاده نشده است، R_f با گذشت زمان ابتدا تا حدود $0.0005 m^2 \cdot K/W$ افزایش می‌یابد و سپس ثابت می‌شود. همچنین، $LMTD$ مبدل به واسطه تشکیل رسوب از حدود $20^\circ C$ تا $15^\circ C$ کاهش می‌یابد. در مرحله دوم و سوم که به ترتیب از مواد آنتی اسکالانت در مدار گرمایشی و سرمایشی استفاده شد، مقاومت حرارتی رسوب، پایین و ثابت (حدود $0.0005 m^2 \cdot K/W$) باقی مانده است. همچنین در هر دو حالت، تغییرات میزان تبادل حرارت مبدل ثابت (حدود $17^\circ C$) است و در نهایت، افت فشار در مرحله ۱ افزایش یافته و در مرحله ۲ تقریباً ثابت مانده است.

کلیدواژگان

آنتی اسکالانت، مبدل حرارتی صفحه‌ای فشرده در حالت جریان مخالف، اختلاف دمای متوسط لگاریتمی، مقاومت حرارتی رسوب، افت فشار

An Investigation on the Effect of Antiscalants on the Prevention of Scaling in Heating and Cooling Systems

Asieh Otaredi-Kashani^{1*}, Mahdi Teimuri¹

1. Department of Mechanical Engineering, Road, Housing, and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

* P.O. Box 131451696, Tehran, Iran, a.otaredi@yahoo.com

Abstract

In this paper, it was established investigating the effect of some antiscalants in preventing of scaling and corrosion in plate heat exchangers. For that, the test rig including a plate heat exchanger installed in closed heating and cooling circuits has been designed. Here, the criteria of scaling were considered changes of logarithmic mean temperature difference ($LMTD$), thermal resistance of the scale (R_f) and pressure drop of the two ends of the exchanger temporally. So, the parameters of temperature, pressure and flow rate of the fluid passed through the plate heat exchanger have been measured during the study time. This project has been done in three steps: 1- heating circuit including hard water and cooling circuit including distilled water, 2- heating circuit including hard water and antiscalants and cooling circuit including distilled water, 3- cooling circuit including hard water and antiscalants and heating circuit including distilled water and $LMTD$ and R_f have been obtained for all three steps. In the first step, when no anti-scaling material is used, R_f first increases to about $0.0005 m^2 \cdot K/W$ over time and then becomes constant. Also, $LMTD$ is reduced from about 20 to $15^\circ C$ due to scaling. In the second and third steps, when antiscalants were used in the heating and cooling circuits, respectively, thermal resistance is low and constant (about $0.0005 m^2 \cdot K/W$). Also, in both steps, $LMTD$ is constant (about $17^\circ C$). Finally, the pressure drop increased in step 1 and remained almost constant in step 2.

Keywords

Antiscalants, Plate Heat Exchanger, Logarithmic Mean Temperature Difference, Thermal Resistance of Scale, Pressure Drop

۱- مقدمه

سامانه‌های حرارتی و برودتی، وظیفه انتقال حرارت را بر عهده دارد، آب است، یکی از عواملی که طول عمر تأسیسات را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مسأله رسوب و خوردگی به‌شمار می‌رود. از دلایل اصلی رسوب در تأسیسات ساختمانی، وجود یون‌های کم محلول در آب است، چرا که به‌واسطه حلالیت

یکی از مهمترین عوامل مرتبط با عمر ساختمان، تأسیسات مکانیکی آن شامل سیستم‌های لوله‌کشی توزیع آب سرد و گرم بهداشتی و تأسیسات گرمایشی و سرمایشی است. از آنجا که یکی از مهمترین سیالاتی که در

- پراکندگی: برخی از آنتی اسکالانت‌ها می‌توانند روی کریستال‌ها یا ذرات کلوئیدی جذب شوند و بار آنیونی بالایی را به آنها انتقال دهند که منجر به جدا نگه داشتن کریستال‌ها از هم می‌شود [3].

۲- روش کار

به‌طور کلی، تشکیل رسوب بر روی سطح می‌تواند در پنج مرحله رخ دهد: به شرایط اولیه رسیدن سطح برای تشکیل رسوب، انتقال املاح معلق در آب به سطح، اتصال مواد به سطح، حذف برخی رسوبات ایجاد شده (که با مکانیزم‌های مختلف مانند انحلال و سایش اتفاق می‌افتد) و پیرشدگی رسوب. پیرشدگی رسوب، ممکن است رسوب را تقویت یا تضعیف نماید. رسوب با گذشت زمان تا رسیدن به مقدار پایدار، رشد می‌کند. اما مقاومت مکانیکی رسوب می‌تواند با تغییر ساختار بلور یا ترکیب شیمیایی رسوب تغییر نماید [4].

عوامل مهم مؤثر بر رسوب‌گذاری شامل غلظت، سرعت جریان، دمای سطح، غلظت املاح و ... است. رسوب‌گذاری با زمان به‌صورت مجانبی افزایش می‌یابد. معمولاً با افزایش دمای انتقال حرارت سطح، مقاومت رسوب کریستالی توسط حلالیت معکوس افزایش می‌یابد. همچنین، مقاومت رسوب با افزایش تنش برشی کاهش می‌یابد. بر اساس یک نظریه، تنش برشی اعمال شده در مجاورت زیر لایه برای حذف لایه‌های بالایی رسوب کافی است. در نظریه دیگر، فوران ناگهانی سیال به دیواره باعث حذف رسوب می‌شود. افزایش سرعت به معنای افزایش تنش برشی و حذف رسوب است [5].

یکی از راه‌های جلوگیری از تشکیل رسوب یا کاهش روند آن، استفاده از مواد شیمیایی آنتی اسکالانت‌هاست. این مواد عمده‌تاً شامل دو نوع پایه فسفات و پایه پلیمری می‌باشند.

آنتی اسکالانت‌های پایه فسفات دارای گروه‌های عاملی اسید کربوکسیلیک و فسفات‌ها هستند. این مواد از بهترین نوع آنتی اسکالانت‌ها در جلوگیری از تشکیل رسوب می‌باشند اما در مقابل، خاصیت پراکندگی کمی دارند. آنتی اسکالانت‌های پایه پلیمری دارای وزن مولکولی بالایی هستند و برای آب‌های با سختی بالا استفاده می‌شوند [6].

در این مطالعه، مقرر شد تا تأثیر مواد شیمیایی آنتی اسکالانت بر پایه فسفات‌ها، تولید شرکت آبریزان، در جلوگیری از رسوب و یا خوردگی در سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی بررسی شود. بدین منظور، دستگاه آزمون مطابق "شکل ۱" طراحی و اجرا شد. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، دستگاه آزمون شامل یک مبدل حرارتی صفحه‌ای اصلی است که جریان‌های سرد و گرم به‌صورت مخالف از آن عبور می‌کنند. از آنجا که یکی از محل‌های دارای بیشترین پتانسیل تشکیل رسوب در سیستم لوله‌کشی، مبدل حرارتی است، در این کار، این مبدل جهت بررسی تأثیر مواد شیمیایی مورد نظر قرار گرفت. در نظر گرفته شد تا پارامتر دما، فشار و دبی سیال عبور داده شده در این مبدل بررسی شود. بدین منظور ۴ عدد سنسور دما جهت بررسی دما در ورودی و خروجی مسیر گرم و سرد مبدل نصب گردید. همچنین، ۲ عدد فشارسنج در ورودی‌های مسیر گرم و سرد مبدل و ۲ عدد اختلاف فشارسنج، یکی برای سمت گرم و دیگری برای سمت سرد تعبیه شد که هر کدام اختلاف فشار ورود و خروج مبدل در مسیرهای گرم و سرد را به‌صورت مجزا اندازه‌گیری کنند. جهت مشخص نمودن دبی، ۲ عدد دبی‌سنج در مسیر گرم و سرد قرار داده شد.

کم آنها، در صورت فراهم بودن شرایط (افزایش دما و یا تغییر شیمیایی محیط مانند تغییر pH، ...)، سریعاً رسوب می‌کنند.

یکی از معضلات اصلی ناشی از تشکیل رسوب و خوردگی، تشکیل رسوب در تجهیزات تبادل‌کننده حرارت است. لایه رسوب تشکیل‌شده بر روی سطوح تبادل‌کننده حرارت، موجب افزایش مقاومت حرارتی و در نتیجه، کاهش نرخ انتقال حرارت، همچنین افت فشار در مسیر حرکت سیال می‌شود. در نتیجه، راندمان سیستم گرمایی و سرمایی پایین می‌آید و دستگاه تولیدکننده گرما یا سرما باید با توان بیشتری کار کند که همه این عوامل باعث افزایش مصرف انرژی و کاهش طول عمر این تجهیزات خواهد شد و در مجموع، باعث هزینه بیشتر در طراحی و تعمیر و نگهداری می‌شود. از سال ۱۹۶۰، تحقیقات گسترده‌ای در خصوص شناخت روند رسوب‌گذاری انجام شده است. با آنکه در آن زمان، تخمین دقیقی از ارتباط لایه رسوب با عوامل تشکیل‌دهنده آن و شناخت نحوه رشد این لایه به‌دست نیامد، اما بعد از آن، گام‌هایی در این رابطه و همچنین شناخت تأثیر رسوب بر ازدیاد مقاومت حرارتی و همچنین تأثیر رسوب بر هزینه‌های سرویس و نگهداری و انرژی سیستم‌های گرمایی و سرمایی برداشته شد [1].

تشکیل رسوب در مبدل‌های حرارتی به پارامترهایی چون سرعت و دمای سیال، نوع و میزان ماده رسوب‌گذار، نوع و شکل و زبری سطح مبدل بستگی دارد.

به‌طور معمول، رسوب شامل ترکیبات کربنات کلسیم، سولفات کلسیم، نمک‌های منیزیم و سیلیس است. در دمای بالاتر از ۵۰°C، بی‌کربنات کلسیم محلول در آب با آزاد کردن دی‌اکسیدکربن، به کربنات کلسیم تبدیل می‌شود که رسوب می‌کند. در دمای بالاتر از ۹۰°C، یون‌های کربنات به یون‌های هیدروکسیل هیدرولیز می‌شوند که با یون‌های منیزیم ترکیب شده و رسوب هیدروکسید منیزیم تولید می‌کنند. بنابراین، کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم، رسوب‌های قلیایی هستند. برای مثال هیدروکسید منیزیم در دما و pH بالا تمایل به تشکیل دارد.

نرم کردن آب به معنی حذف یون‌های کلسیم و منیزیم در آب است که با استفاده از روش‌های ته‌نشینی شیمیایی، سختی‌گیرها، تزریق اسید، استفاده از مواد بازدارنده شیمیایی و ... صورت می‌گیرد. یکی از راه‌های جلوگیری از تشکیل رسوب، استفاده از مواد شیمیایی بازدارنده‌های رسوب است. از جمله مواد شیمیایی که به عنوان ضد رسوب و پخش‌کننده رسوبات استفاده می‌شوند، آنتی اسکالانت‌ها هستند [2].

آنتی اسکالانت‌ها مواد شیمیایی با سطوح فعال هستند که به سه طریق اصلی در واکنش‌های تشکیل رسوب تداخل ایجاد می‌کنند:

- بازدارنده‌های آستانه (Threshold Inhibition): توانایی یک آنتی اسکالانت برای نگه داشتن محلول‌های فوق اشباع نمک‌های محلول است.

- اصلاح کریستال: این خاصیت یک آنتی اسکالانت برای به‌هم ریختن شکل کریستال و در نتیجه، ایجاد رسوب نرم و غیرچسبنده است. زمانی که یک کریستال در سطح زیر میکروسکوپی شروع به تشکیل می‌کند، گروه‌های منفی روی مولکول آنتی اسکالانت به بارهای مثبت هسته رسوب حمله می‌کنند و تعادل الکترونیکی لازم برای رشد کریستال را بر هم می‌زند. زمانی که از اصلاح‌کننده‌های کریستالی استفاده می‌شود، کریستال‌های رسوب، نامنظم‌تر، بیضی‌شکل‌تر و کمتر متراکم به نظر می‌رسند.

در طول دوره آزمون، دماها در ورودی به مبدل و خروجی از مبدل، فشار ورودی به مبدل و اختلاف فشار دو سمت مبدل، دبی جریان در هر دو مدار گرمایش و سرمایش اندازه‌گیری و ثبت شدند. دمای آب گرم ورودی به مبدل، بین ۵۵ تا ۶۰ °C و دمای آب سرد ورودی به مبدل ۱۵ °C تنظیم شد. به منظور ثابت بودن دمای آب سرد ورودی به مبدل، از یک چیلر هواخنک استفاده شده است. همچنین، به منظور بررسی فرایند رسوب‌گذاری در زمان کمتر از شرایط معمولی، از آب با سختی ۲۰۴ ppm و TDS حدود ۴۰۸ ppm استفاده شد.

این پروژه در سه مرحله انجام شد:

- در مرحله اول، در مدار سرمایشی از آب مقطر و در مدار گرمایشی از آب سخت استفاده شد و هیچ مواد آنتی‌اسکالانت به آن اضافه نشد. این مرحله به عنوان شاهد و بررسی تأثیر رسوب در مبدل در غیاب مواد آنتی‌اسکالانت در نظر گرفته شد.
 - در مرحله دوم، مدار گرم شامل آب سخت و مواد آنتی‌اسکالانت و مدار سرد شامل آب مقطر بود.
 - در مرحله سوم که هدف آن بررسی تأثیر مواد آنتی‌اسکالانت در سیستم سرمایشی بوده، شامل آب مقطر در مدار گرم و آب سخت و مواد آنتی‌اسکالانت در مدار سرد بود.
- در هر سه مرحله، دماهای ورودی به مبدل و خروجی از مبدل، فشار ورودی به مبدل، اختلاف فشار دو سر مبدل، دبی در هر دو مسیر گرمایش و سرمایش در طی مدت آزمون، به شرح نتایج زیر ثبت شدند.

۳- نتایج

جهت بررسی تشکیل رسوب در مبدل حرارتی صفحه‌ای، از پارامترهای مؤثر از رسوب به صورت زیر استفاده شد [7]:

- افزایش مقاومت حرارتی ناشی از افزایش رسوب
- افزایش اختلاف دمای تبادل به روش $LMTD$ ناشی از افزایش رسوب
- افزایش اختلاف فشار ورودی و خروجی مبدل.

با توجه به مشخص بودن دماهای ورودی به مبدل و خروجی از مبدل، همچنین، دبی‌های آب در حال چرخش در هر دو مدار گرمایش و سرمایش به صورت روزانه، می‌توان میزان حرارت تبادل‌شده در هر سمت مبدل را با استفاده از روابط زیر به دست آورد:

$$\begin{aligned} Q_h &= \dot{m}_h C_h (T_{hi} - T_{ho}) \\ Q_c &= \dot{m}_c C_c (T_{co} - T_{ci}) \end{aligned} \quad (1)$$

در اینجا، ظرفیت گرمایی ویژه آب، 4.18 J/g.K در نظر گرفته شده است. از آنجا که مقداری از Q_h صرف گرم کردن آب سرد در مبدل و بقیه به صورت افت انرژی (Q_{Loss}) در محیط از دست می‌رود، میزان تبادل حرارت صورت گرفته برابر با Q_c است.

$$Q_h = Q_c + Q_{Loss} \quad (2)$$

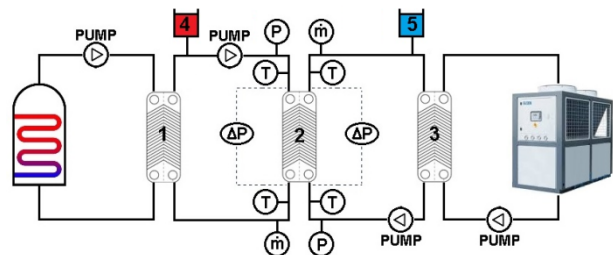
با مشخص بودن میزان تبادل حرارت، ضریب کلی انتقال حرارت مبدل، مطابق با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$U_c = \frac{Q_c}{A \times C_{FT} \times LMTD} \quad (3)$$

همچنین، جهت تنظیم فشار اضافی سیستم و جریان کمبود آب در مدار گرم و مدار سرد، از منبع انبساط باز در هر دو مدار گرم و سرد استفاده شد. سیال در مسیر لوله‌کشی سرد توسط یک چیلر هوا خنک و در مسیر لوله‌کشی گرم توسط المنت‌های الکتریکی که یک مخزن آب را در دمای ثابت نگه می‌دارد، به دمای مورد نظر می‌رسد. در هر مدار جهت گردش آب، از پمپ سیرکولاسیون استفاده گردید.

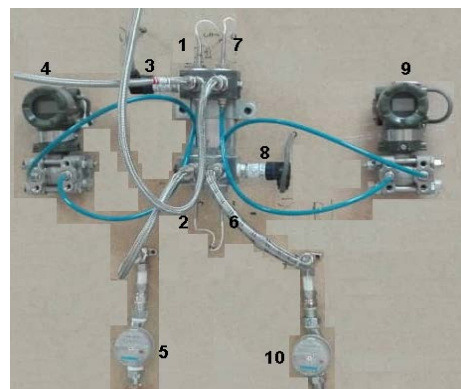
مشخصات تجهیزات مورد استفاده در این پروژه به صورت زیر است:

- سیستم گرمایش شامل مخزن فلزی با ظرفیت 1 m^3 و المنت‌های الکتریکی به ظرفیت 6 KW
- چیلر هواخنک با ظرفیت ۱۰ تن تبرید
- منبع‌های انبساط باز با ظرفیت ۶۰ l
- مبدل حرارتی صفحه‌ای ۱۲ صفحه‌ای با مساحت 0.126 m^2
- سنسور $PT100$ با دقت 0.1°C با نام تجاری لوترون
- فشارسنج ساخت شرکت ویکا با ظرفیت $0-4 \text{ bar}$ (خروجی به صورت $4-20 \text{ mA}$ و با دقت 0.01 mA است.)
- اختلاف فشارسنج با دقت 0.1 درصد ساخت شرکت یوگواوا
- دبی‌سنج پرمای تا محدوده‌ی دمایی 130°C ساخت شرکت زنر
- لوله‌کشی با لوله‌های PE-X/Al/PE-X با قطر 16 mm



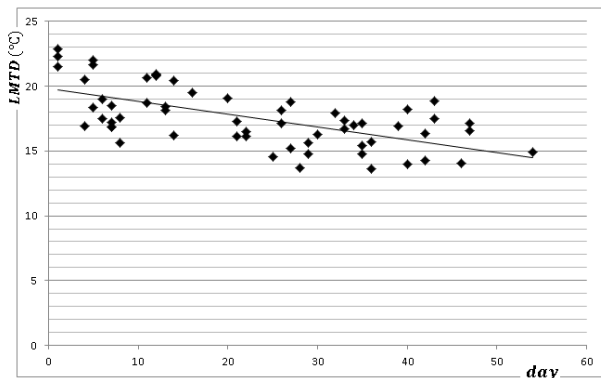
۱: مبدل گرم‌کننده مدار گرمایش، ۲: مبدل تبادل‌کننده حرارت مدار گرمایش و سرمایش، ۳: مبدل خنک‌کننده مدار سرمایش، ۴: منبع انبساط باز مدار گرمایش، ۵: منبع انبساط مدار سرمایش
شکل ۱ طرح‌واره دستگاه آزمون

همچنین، "شکل ۲" مبدل حرارتی صفحه‌ای اصلی را به همراه تجهیزات اندازه‌گیری در دستگاه آزمون نشان می‌دهد.



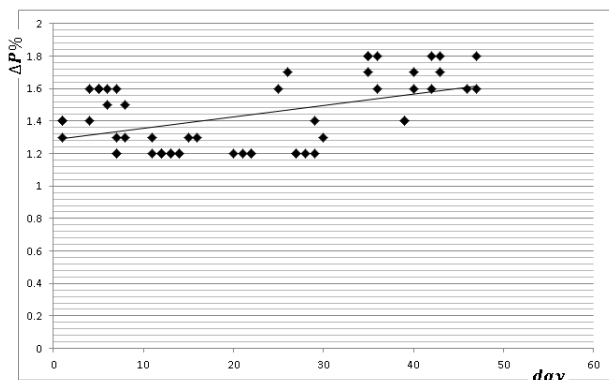
شکل ۲ مبدل حرارتی صفحه‌ای به همراه تجهیزات اندازه‌گیری پارامترهای ۱: T_{hi} ، ۲: T_{ho} ، ۳: P_{hi} ، ۴: ΔP_{hot} ، ۵: $\dot{m}_h$ در مدار گرمایشی و پارامترهای ۶: T_{ci} ، ۷: T_{co} ، ۸: P_{ci} ، ۹: ΔP_{cold} ، ۱۰: $\dot{m}_c$ در مدار سرمایشی

می‌افتد. در "شکل ۴"، که متوسط $LMTD$ مبذل نشان داده شده است، کاهش اختلاف دما از حدود ۲۰ تا حدود ۱۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۴ تغییرات $LMTD$ مبذل بر حسب زمان سیستم گرمایشی شامل آب سخت و بدون مواد آنتی اسکالانت

به طور کلی، عبور سیال از مبذل، به‌خاطر برخورد با صفحات مبذل با افت فشار همراه است. در این پروژه، میزان افت فشار توسط دستگاه اختلاف فشارسنج که به دو سمت مبذل در هر دو مدار گرمایش و سرمایش متصل است و افت فشار را به‌صورت درصد نشان می‌دهد، خوانده شد. با گذشت زمان و تشکیل رسوب و تنگ شدن مجراهای عبور آب، افت فشار آب بیشتر می‌شود. "شکل ۵" افزایش افت فشار در مسیر گرم مبذل (که آب سخت در آن جریان داشته) را از حدود ۱/۳ تا ۱/۶ درصد نشان می‌دهد.



شکل ۵ تغییرات اختلاف فشار ورودی و خروجی دو طرف مبذل در مدار گرمایشی بر حسب زمان شامل آب سخت و بدون مواد آنتی اسکالانت

در مرحله دوم پروژه و به سبب مقایسه این مرحله با مرحله اول، در مدار گرمایش، آب سخت و در مدار سرمایش، آب مقطر استفاده شد، با این اختلاف که در مدار گرمایش از مواد آنتی اسکالانت بر پایه فسفات‌ها استفاده شد. مدت این مرحله از مطالعه دو ماه در نظر گرفته شد.

همانند مرحله قبل، به صورت روزانه پارامترهای دما، فشار، دبی و اختلاف فشار دو سر مبذل در هر دو مدار گرمایش و سرمایش اندازه‌گیری شدند. با داشتن دماها و دبی در هر روز، مقاومت حرارتی رسوب بر حسب زمان مطابق با روابط محاسبه گردید که نتیجه در "شکل ۶" نشان داده شده است. مقاومت حرارتی رسوب با گذشت زمان ثابت است و افزایش نیافته است، همچنین، میزان آن پایین و حدود $0.0005 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ است که این امر نشان‌دهنده آن است که به‌خاطر افزایش مواد آنتی اسکالانت،

در این رابطه، U_c ضریب کلی انتقال حرارت مبذل در حالتی است که هنوز رسوبی در آن تشکیل نشده است. از آنجا که مبذل مورد استفاده در این پروژه، مبذل حرارتی صفحه‌ای فشرده در حالت جریان مخالف بوده است، G_{FT} بیشترین مقدار خود یعنی برابر با یک فرض شده است. همچنین، $LMTD$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

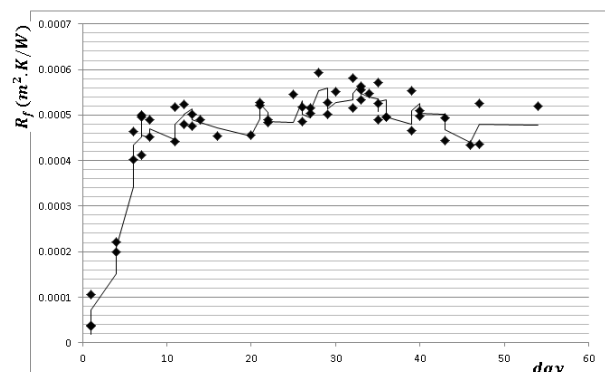
$$LMTD = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}} \right)} \quad (4)$$

زمانی که رسوب در مبذل تشکیل می‌شود، مقاومت حرارتی رسوب باعث می‌شود تا انتقال حرارت مبذل کمتر صورت گیرد. مقاومت حرارتی رسوب را می‌توان به‌صورت زمانی و مطابق با رابطه زیر اندازه‌گیری نمود:

$$\frac{1}{U_f} - \frac{1}{U_c} = R_f \quad (5)$$

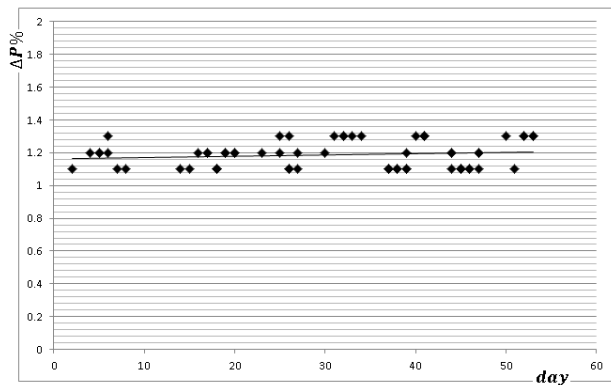
در اینجا، با محاسبه ضریب کلی انتقال حرارت مبذل در حالتی که در آن رسوب تشکیل شده (U_f)، می‌توان مقاومت حرارتی رسوب را در هر زمان از تشکیل رسوب (R_f) به‌دست آورد.

همان‌طور که گفته شد، در مرحله اول پروژه که زمان آن دو ماه در نظر گرفته شد، در مدار گرمایش، آب سخت و در مدار سرمایش، آب مقطر استفاده شد و در آن به‌صورت روزانه پارامترهای دمای ورودی به مبذل و خروجی از مبذل، فشار ورودی به مبذل، اختلاف فشار دو سر مبذل و دبی در هر دو مدار گرمایش و سرمایش اندازه‌گیری شدند و مقاومت حرارتی رسوب بر حسب زمان محاسبه گردید. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، R_f با گذشت زمان، به‌واسطه افزایش میزان و ضخامت رسوب، ابتدا افزایش می‌یابد و سپس، با توجه به اینکه مواد سخت جدیدی به سیستم اضافه نشده است و بنابراین، لایه جدیدی از رسوب به‌وجود نمی‌آید، ثابت می‌شود. "شکل ۳" R_f مرحله اول پروژه را بر حسب زمان نشان می‌دهد که تا حدود روز دهم تا حدود $0.0005 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ افزایش می‌یابد و سپس، به این دلیل که آب تازه زیادی وارد سیستم نمی‌شود، ثابت می‌ماند.



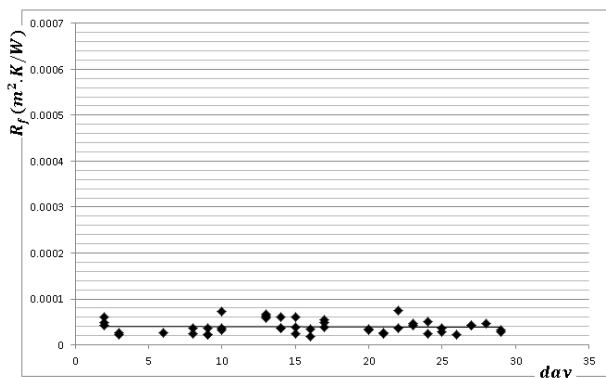
شکل ۳ تغییرات مقاومت حرارتی رسوب بر حسب زمان سیستم گرمایشی شامل آب سخت و بدون مواد آنتی اسکالانت

همچنین، با تشکیل رسوب و افزایش مقاومت حرارتی، اختلاف دمای ورودی و خروجی مبذل کاهش می‌یابد، بدین معنا که تبادل کمتر اتفاق



شکل ۸ تغییرات اختلاف فشار ورودی و خروجی دو طرف مبدل در مدار گرمایشی بر حسب زمان شامل آب سخت و مواد آنتی اسکالانت

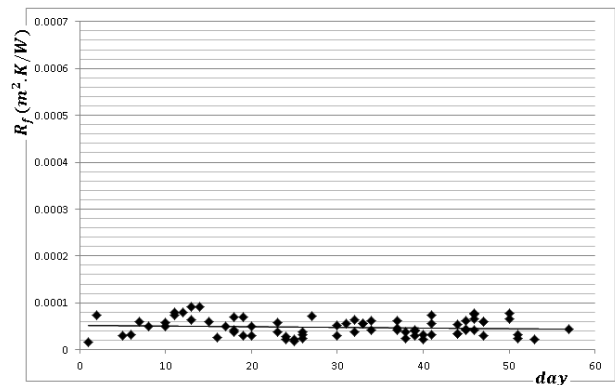
در مرحله سوم پروژه، مقرر شد تا تأثیر مواد آنتی اسکالانت در سیستم سرمایش مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور، در مدار سرمایش، آب سخت و مواد شیمیایی آنتی اسکالانت بر پایه فسفات‌ها و در مدار گرمایش، آب مقطر استفاده شد. مدت زمان این مرحله یک ماه در نظر گرفته شد. در اینجا، مقاومت حرارتی رسوب بر حسب زمان (شکل ۹)، با گذشت زمان ثابت است و افزایش نیافته است. همچنین میزان آن پایین و حدود $0.0005 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ است که این امر نشان دهنده آن است که به خاطر افزایش مواد آنتی اسکالانت به آب سخت، یون‌های کم محلول در آب که تمایل به رسوب دارند، در آب معلق مانده و در مبدل رسوب نکرده‌اند.



شکل ۹ تغییرات مقاومت حرارتی رسوب بر حسب زمان سیستم سرمایشی شامل آب سخت و مواد آنتی اسکالانت

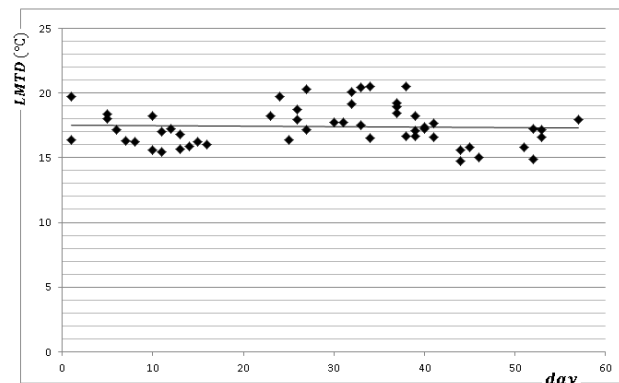
همچنین، "شکل ۱۰" $LMTD$ مبدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رود، اختلاف دمای ورودی و خروجی مبدل تقریباً ثابت است و کاهش اتفاقی نیفتاده است. بدین معنا که به خاطر عدم تشکیل رسوب و عدم افزایش مقاومت حرارتی، اختلاف دما در ورودی و خروجی مبدل در مدار سرد ثابت و حدود ۱۷ است.

یون‌های کم محلولی که تمایل به رسوب دارند، در آب معلق مانده و رسوب نکرده‌اند.



شکل ۶ تغییرات مقاومت حرارتی رسوب بر حسب زمان سیستم گرمایشی شامل آب سخت و مواد آنتی اسکالانت

همچنین، "شکل ۷" $LMTD$ مبدل را بر حسب زمان نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، اختلاف دمای لگاریتمی مبدل به خاطر عدم تشکیل رسوب و عدم افزایش مقاومت حرارتی، تقریباً ثابت است و کاهش اتفاقی نیفتاده است.



شکل ۷ تغییرات $LMTD$ مبدل بر حسب زمان سیستم گرمایشی شامل آب سخت و مواد آنتی اسکالانت

اختلاف فشار ورودی و خروجی مبدل در مدار گرمایش بر حسب زمان و به صورت درصد در "شکل ۸" نشان داده شده است. در اینجا برخلاف "شکل ۳" که درصد اختلاف فشار با یک شیب ملایم افزایش یافته است، تقریباً ثابت و حدود ۱/۲ درصد است.

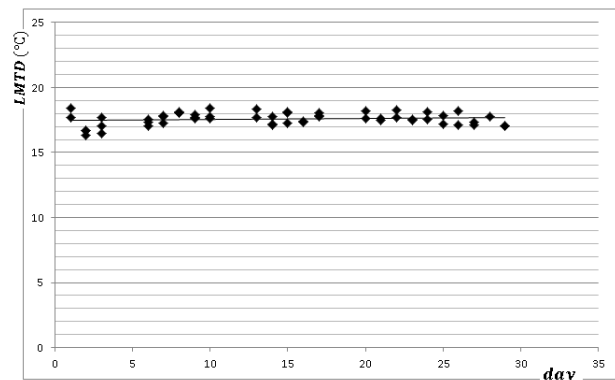
ΔP_{cold}	اختلاف فشار ورودی و خروجی مبدل در مسیر سرد (%)
$\dot{m}_h$	دبی مسیر گرم (g/s)
$\dot{m}_c$	دبی مسیر سرد (g/s)
Q_h	نرخ انتقال حرارت که آب گرم مبدل آزاد می‌کند (W)
C_h	ظرفیت گرمایی ویژه آب گرم ($J/g.K$)
Q_c	نرخ انتقال حرارت که آب سرد مبدل دریافت می‌کند (W)
C_c	ظرفیت گرمایی ویژه آب سرد ($J/g.K$)
Q_{Loss}	نرخ حرارت اتلافی (W)
U_c	ضریب کلی انتقال حرارت مبدل ($W/m^2.K$)
U_f	ضریب کلی انتقال حرارت مبدل در حالتی که در آن رسوب تشکیل شده است.
R_f	مقاومت حرارتی رسوب ($m^2.K/w$)
$LMTD$	اختلاف دمای متوسط لگاریتمی ($^{\circ}C$)
C_{FT}	ضریب تصحیح $LMTD$
A	سطح کلی انتقال حرارت مبدل (m^2)

۶- تقدیر و تشکر

از شرکت پژوهشی، صنعتی آبریزان بابت همکاری در این طرح تشکر و قدردانی می‌گردد.

۷- مراجع

- [1] A. Cooper, Recover more heat with plate heat exchangers, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 285, pp. 280-284, May1974.
- [2] <https://mitreh.com/product/>
- [3] <https://www.lenntech.com/antiscalants.htm>
- [4] M. Al-Ahmad, F. Abdul Aleem, Scale Formation and Fouling Problems Effect on the Performance of MSF and RO Desalination Plants in Saudi Arabia, *Desalination*, 93, pp. 287-310, 1993.
- [5] J. G. Knudsen, "Fouling in Heat Exchangers", in "Hemisphere Handbook of heat Exchangers Design", G. F. Hewitt (Ed.), Hemisphere, 1990.
- [6] <https://buali-chem.com/>
- [7] Compact Heat Exchanger for Energy Transfer Intensification, Low Grade Heat and Fouling Mitigation, by Taylor & Francis Group, 2016.



شکل ۱۰ تغییرات $LMTD$ مبدل بر حسب زمان سیستم سرمایشی شامل آب سخت و مواد آنتی اسکالانت

۴- نتیجه‌گیری

در این پروژه مقرر شد تا تأثیر برخی از مواد آنتی اسکالانت با نام تجاری میتره، تولید شرکت آبریزان در جلوگیری از رسوب در سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی بررسی شود. بدین منظور، دستگاه آزمون مطابق "شکل ۱" و شامل یک مدار بسته گرمایشی و یک مدار بسته سرمایشی که توسط یک مبدل حرارتی صفحه‌ای فشرده جریان مخالف تبادل حرارت می‌کنند، طراحی شده است. با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده دما و فشار دو سر مبدل، همچنین دبی به‌صورت زمانی و با استفاده از روابط انتقال حرارت، اثر رسوب‌گذاری بر ضریب کلی انتقال حرارت مبدل و همچنین میزان تغییرات افت فشار در مبدل به دست می‌آید. آزمون در سه مرحله انجام گرفت؛ مرحله اول که به عنوان مرحله شاهد در نظر گرفته شد، از مواد آنتی اسکالانت استفاده نگردید تا تأثیر رسوب ایجاد شده در صفحات مبدل، بر کاهش انتقال حرارت مبدل و افزایش افت فشار مشخص گردد. در مرحله دوم و سوم، به ترتیب از مواد آنتی اسکالانت در مدار گرمایشی و سرمایشی استفاده شد و نتایج با مرحله اول مقایسه گردید. آب مورد استفاده در هر سه مرحله یکسان بوده است. در مبدل در مسیر مدار گرمایشی، در حالتی که از مواد آنتی اسکالانت استفاده نشده بود، مقاومت حرارتی رسوب با گذشت زمان ابتدا افزایش (حدود $0.005 m^2.K/W$) و سپس ثابت شد. همچنین $LMTD$ مبدل (از حدود $20^{\circ}C$ تا $15^{\circ}C$) کاهش می‌یابد، بدین معنا که تبادل کمتر اتفاق می‌افتد. در مرحله دوم از مواد آنتی اسکالانت در مدار گرمایشی و در مرحله سوم از مواد آنتی اسکالانت در مدار سرمایشی استفاده شد. در هر دو مرحله مقاومت حرارتی رسوب با گذشت زمان پایین و ثابت (حدود $0.0005 m^2.K/W$) بود. همچنین $LMTD$ مبدل ثابت (حدود $17^{\circ}C$) باقی ماند.

۵- فهرست علائم

T_{hi}	دمای ورودی گرم به مبدل ($^{\circ}C$)
T_{ho}	دمای خروجی گرم از مبدل ($^{\circ}C$)
T_{ci}	دمای ورودی سرد به مبدل ($^{\circ}C$)
T_{co}	دمای خروجی سرد از مبدل ($^{\circ}C$)
P_{hi}	فشار ورودی مسیر گرم به مبدل ($mbar$)
ΔP_{hot}	اختلاف فشار ورودی و خروجی مبدل در مسیر گرم (%)
P_{ci}	فشار ورودی مسیر سرد به مبدل ($mbar$)



ارزیابی سازگاری کاربری اراضی شهری با کاربری مسکونی در بجنورد

علی اصغر پیلهور^{۱*}، نرگس شیرزاد^۲

۱. دانشیار، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه بجنورد، بجنورد

۲. کارشناس مهندسی شهرسازی، دانشگاه بجنورد، بجنورد

* پست‌توی ۹۴۵۳۱۵۵۱۱۱، pilevar@ub.ac.ir

چکیده

این مقاله با هدف ارزیابی رابطه بین سازگاری در کاربری اراضی شهر بجنورد با تأکید بر کاربری مسکونی برای بهبود پویایی و مدیریت شهری ارائه شده است. روش تحقیق تطبیقی و از نظر ماهیت، توسعه‌ای- کاربردی است. در این پژوهش، ارزیابی شاخص‌ها به صورت کمی و کیفی صورت گرفته است. ارزیابی کمی کاربری اراضی با تقسیم فرضی شهر به ۲ بافت میانی و پیرامونی به مساحت ۱۸۵۲ هکتار و نمایش ۲ بافت شهری (میانی- پیرامونی) در قالب ۱۲ حوزه فرضی و با انتخاب ۴ شاخص: مساحت، تراکم، سرانه و متوسط مساحت قطعات مسکونی با توجه به میزان اهمیت و تأثیر آنها، انجام شده است. برای ارزیابی کیفی کاربری‌ها نیز ۲ شاخص سازگاری و همجواری از نظر مطلوبیت مورد ارزیابی قرار گرفته است. وضعیت همجواری کاربری‌های شهری با کاربری مسکونی، به شیوه تحلیل و با استفاده از ماتریس‌ها و وزن‌دهی (۹-۱) و در محیط Arc GIS، به وسیله ترسیم نقشه و سپس تحلیل آن، ارزیابی شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کاربری‌های شهر بجنورد از نظر کمی میزان مطلوبیت و سازگاری نسبت به کاربری مسکونی، در حد پایین‌تر قرار دارد؛ به طوری که کاربری ۵۸ درصد فضای سبز، تغییر کاربری یافته و شهر با کمبود بالای فضای سبز عمومی مواجه است و کاربری ورزشی در بخش‌هایی از شهر سرانه مطلوبی ندارند و حدود ۹۸ درصد این کاربری در طرح تفصیلی، تغییر کاربری پیدا کرده و وضع به گونه نامتعادل است. نتایج ارزیابی کمی کاربری مسکونی نیز به دلیل تمرکز و تراکم انواع فعالیت‌های تجاری- اداری و آموزشی، نشان‌دهنده کمبود سرانه مسکونی، به ویژه در بخش‌های پرتراکم شهری (بافت میانی شهر بجنورد) است. به لحاظ کیفی، کمبود خدمات شهری و نابرابری در توزیع خدمات، باعث تشدید محدودیت‌ها در بافت پیرامونی شده است. از نظر سازگاری و پایداری نیز در بافت میانی وضعیت ناپایدار و ناسازگاری آشکار شده است. در پایان مقاله، برای رفع کمبود سرانه کاربری‌های فضای سبز و آموزشی، متعادل‌سازی خدمات شهری با تقویت مراکز خدماتی در مرکز و پیرامون با رویکرد دسترسی آسان شهروندان پیشنهاد شده است.

کلیدواژگان

سازگاری، کاربری اراضی، کاربری مسکونی، بجنورد

Assessing the Extent of Adjacency between Urban Land Use and Residential Use in Bojnord

Ali Asghar Pilehvar^{1*}, Narges Shirzad²

1. Department of Urban Engineering, University of Bojnord, Bojnord, Iran

2. Department of Urban Engineering, University of Bojnord, Bojnord, Iran

* P.O. Box 9453155111, Bojnord, Iran, pilevar@ub.ac.ir

Abstract

This article aims to assess the relationship between compatibility and proximity in land use in Bojnord with an emphasis on residential use to improve dynamics and urban management. The method of comparative research and analysis is the proportional evaluation model of urban lands and is developmental-applied in nature. In this research, the indicators have been measured and evaluated both quantitatively and qualitatively. Quantitative evaluation of land use by hypothetically dividing the city into 2 middle and peripheral areas with an area of 1852 hectares and showing two urban areas (middle-peripheral) in the form of 12 hypothetical areas and selecting 4 indicators: area, density, per capita and average area of residential plots with attention has been paid to their importance and impact. For quality assessment of uses, two indicators of compatibility and proximity have been evaluated in terms of desirability. The proximity of urban land uses to residential land has been assessed by analysis using matrices and weighting (1-9) and in the Arc GIS environment by mapping and then analyzing it. The results of this study show that the uses of Bojnord city are quantitatively lower in terms of desirability and compatibility than residential use; So that the use of 58% of green space has been changed and the city is facing a high shortage of public green space and sports use is not desirable in some parts of the city and about 98% of this use has been changed in the detailed plan and the species are unbalanced. The results of quantitative assessment of residential use due to the concentration and density of various commercial-administrative and educational activities, indicate a shortage of housing per capita, especially in densely populated urban areas (the central context of Bojnord). In terms of quality, lack of municipal services and inequality in the distribution of services have exacerbated restrictions on the surrounding context. In terms of compatibility and stability, instability and incompatibility have been revealed in the middle tissue. At the end of the article, suggestions are provided to eliminate the shortage of green space and educational uses per capita in the outskirts of the city and to balance urban services by strengthening service centers in and around the center with an easy access approach of citizens.

Keywords

Compatibility, Land Use, Residential Use, Bojnord

۱- مقدمه

برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری به دنبال کیفیت‌بخشی الگوهای فضایی، توزیع مناسب کاربری‌ها و متعادل‌سازی زیست‌محیطی و برقراری عدالت در توزیع خدمات در فرایند رشد و توسعه شهری است. یکی از اهداف مهم مدیریت و برنامه‌ریزان شهری در دهه‌های اخیر، بازتولید فضاهای عمومی و ایجاد محیط شهری پایدار بوده است [1] که این مهم در ارتباط با تحولات ساختاری- کارکردی نظام کاربری اراضی و مدیریت شهری قرار دارد. حتی عمده امور اجتماعی- اقتصادی در هر کشور با برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری مرتبط است [2]. اصولاً برنامه‌ریزی کاربری اراضی، هسته اصلی برنامه‌ریزی شهری و تأثیرگذارترین محورهای توسعه پایدار شهری است [3]. برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، سامان‌دهی مکانی و فضایی فعالیت‌ها براساس خواسته‌ها و نیازهای جامعه شهری در حال تغییر است و در این راستا توجه ویژه‌ای به تغییرات کاربری زمین شهری شده است [4]. کاربری زمین از دیدگاه توسعه پایدار شامل تمام فعالیت‌های اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی است که بتواند هم نیازهای مادی و هم نیازهای اجتماعی، فرهنگی و روانی مردم را در زمان حال و آینده برآورده سازد [5]. اما بخش کاربری زمین شهری یکی از بخش‌هایی است که در طرح‌های شهری ایران مورد غفلت واقع شده است. این غفلت موجب شده تا سرانه‌های کاربری‌ها به دلیل ویژگی کالبدی- کارکردی، به تنهایی نتوانند پاسخگوی نیازهای برنامه‌ای و ابعاد حقوقی، اقتصادی و اجتماعی استفاده از زمین و فضا باشند و در بیشتر موارد کاربری‌های مصوب تحقق پیدا نکنند [6] که با این روند، مدیریت و ناپایداری شهری با چالش‌هایی مواجه خواهد شد. بنابراین، سامان‌دهی فضایی- مکانی کاربری‌های شهری در راستای پویایی اقتصادی و مدیریت شهری الزامی است؛ زیرا نقش اساسی در کاهش ناسازگاری در میان کاربری‌ها [7] و پیشگیری از شکل‌گیری کانون‌های جرم در شهر دارند [8]. به همین دلیل، نواحی مسکونی ۴۰ تا ۶۰ درصد سطح شهر را اشغال و هویت اصلی شهر را پدید آورده و دارای مقررات با حساسیت خاص شده است [9]. از این رو، باید گفت مسکن عنصر اصلی و مهم‌ترین کاربری کمی و کیفی شهری بوده و از واقعیت‌های جامعه است [10].

اصولاً ارزیابی وضعیت کاربری اراضی شهری و نشان دادن کیفیت سازگاری و ناسازگاری کاربری‌ها قدری پیچیده است. این پیچیدگی به دلیل اثرپذیری و اثرگذاری کاربری‌ها از فرایند رشد سریع و شتابان شهری بوده و زمینه‌ساز ناکارآمدی و نزول کیفیت زندگی شهری در بافت‌های مرکزی و پیرامونی شهرها شده است. بنابراین، در شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری بررسی و ارزیابی کیفیت و چگونگی قرارگیری کاربری‌های شهری یک اصل مهم و ماموریت قابل‌توجه در نزد محققان علوم شهری و شهرسازی است. این مهم با شناخت و تحلیل وضعیت کاربری‌ها از نظر اثرگذاری مثبت یا منفی برای رسیدن به پایداری شهری میسر است. بنابراین، سنجش و ارزیابی سازگاری و همجواری کاربری‌ها در خصوص کاربری مسکونی می‌تواند به کاهش چالش‌های برنامه‌ریزی زمین شهری و ناکارآمدی رشد و توسعه شهری کمک نماید. در چند دهه اخیر، فقدان توازن در توزیع کاربری‌های شهری در شهرهای میانه و متوسط، مانند: بجنورد موجب چالش‌هایی در سازگاری و همجواری کاربری‌ها شده است. به‌طوری‌که در بافت پیرامونی شهر ضعف و کاهش کاربری‌های مهم مثل کاربری آموزشی و فضای سبز از یک سو و تمرکز بافت‌های جدید مسکونی در قالب حاشیه‌نشینی از سوی دیگر تهدید جدی در فرایند توسعه شهری بجنورد محسوب می‌شود.

این پژوهش با هدف ارزیابی وضعیت کاربری‌های شهری و میزان همجواری و سازگاری با رویکرد پایداری و مدیریت کاربری اراضی شهری در بجنورد ارائه شده است. برای تحقق هدف باید با توجه به ضرورت پویایی اقتصادی و توزیع عادلانه خدمات شهری، وضعیت کاربری‌های مصوب و مدیریت بهینه منابع شهری در فرایند شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری همواره باید مورد تأکید قرار گیرد.

۲- مبانی نظری

در چند دهه اخیر رویکرد جدیدی به نام آمایش اراضی شهری مورد توجه برنامه‌ریزان شهری قرار گرفته است تا راهبردهای اجرایی و اصلاحی را در مورد کیفیت بهره‌گیری و توزیع مناسب اراضی شهری بر مبنای نیازهای شهرنشینان تدارک ببینند. بنابراین، دیدگاه‌هایی کاربردی در نظام برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری دنبال می‌شود که این فرایند را الگویی مؤثر برای بهره‌برداری و محافظت از اراضی شهر با هدف مکان‌یابی و ساماندهی فضایی کاربری‌ها می‌داند. در این فرایند توجه به کاربری اراضی شهری به منظور اطمینان خاطر از استقرار منطقی آن‌ها و رعایت تناسب برای ایجاد سرزندگی و پویایی اقتصادی- اجتماعی در شهر ضروری است [11]. بنابراین، در ارزیابی کاربری‌های شهری می‌توان معیارها و مدل‌های خاصی را برای تحلیل مورد توجه قرارداد؛ از جمله مدل ارزیابی تناسب اراضی از نظر سازگاری که به میزان مطابقت مشخصات اراضی با نیازهای شهری می‌پردازد [12] و یا مدل مطلوبیت کاربری اراضی که تعاملات فضایی، زیرساختی و فعالیت‌های اجتماعی- اقتصادی را مورد بررسی قرار می‌دهد [13]. همچنین، در سنجش و ارزیابی کاربری اراضی شهری به دو بنیان نظری کمی و کیفی توجه شده است [14]. در ارزیابی کیفی، مؤلفه‌هایی چون: سودمندی اجتماعی، موازنه برنامه‌ریزی، وابستگی، سازگاری، مطلوبیت و ظرفیت، اهداف، اقدامات و غیره مدنظر قرار می‌گیرند [15]. در تکنیک ارزیابی از طریق معیارها و ماتریس‌های بهینه، کاربری‌ها در کنار یکدیگر با توجه به وابستگی، سازگاری، ظرفیت و مطلوبیت انواع کاربری‌ها در سطح شهر، استقرار بهینه کاربری‌ها، پس از جمع‌آوری اطلاعات وضع موجود کاربری‌های زمین شهری، با استفاده از ماتریس‌هایی به چگونگی استقرار کاربری‌ها در کنار یکدیگر در سطح شهر می‌پردازد [16]. مفهوم سازگاری به وجود یک ارتباط منطقی بین روابط در یک فضای حاصل از اشتراک فعالیت، مکان و فضا اشاره دارد [17]. یکی از اهداف اصلی برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری، همجواری مناسب کاربری‌ها بر اساس ماتریس سازگاری است [18]. با توجه به اصول زیست‌محیطی توسعه پایدار تناسب و سنخیت کاربری اراضی شهری با کاربری مسکونی امری الزامی است و رابطه معنی‌داری بین سازگاری کاربری‌ها و شهر سالم وجود دارد [19]. زیرا فاصله کاربری‌های ناسازگار با کاربری مسکونی جهت جلوگیری از آلاینده‌گی و پایداری محیط مسکونی اهمیت فراوانی دارد.

بنابراین، دیدگاه‌های مختلفی در نظام کاربری اراضی به طور عام و کاربری اراضی شهری به طور خاص مطرح بوده است. اما اولین نظریه در مورد کاربری اراضی با رویکرد بهره‌وری اقتصادی و انواع کاربری زمین با فاصله‌گیری از مراکز شهری در قرن نوزدهم مطرح شد [20]. در قرن بیستم و بعد از دهه ۱۹۶۰ کیفیت استفاده از کاربری اراضی شهری به عنوان دیدگاهی مهم در ادبیات برنامه‌ریزی شهری مورد توجه قرار گرفت [21]. تاکنون نظریه‌های متعددی مانند رهیافت اکولوژی انسانی، اقتصاد زمین، رهیافت سیستمی، برنامه‌ریزی مشارکتی، ساماندهی زمین و... در رابطه با مطالعات کاربری اراضی

کاربری‌های مصوب شهری در بجنورد است. لذا در این مقاله دو رویکرد توسعه پایدار شهری و برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری بیشتر مبنای تطبیق و تحلیل بوده است.

۲- پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعدد و متفاوتی در حوزه خارجی و داخلی پیرامون سازگاری و همجواری کاربری‌های اراضی شهری انجام شده است. در بخش خارجی هریسپرینگر و همکارانش (۲۰۱۸) در مقاله‌ای با عنوان «تغییر کاربری اراضی شهری: نقش برنامه‌ریزی استراتژیک فضایی» تأثیر برنامه‌ریزی فضایی در تغییر کاربری اراضی شهری را بررسی کرده و بر نقش عناصر حاکمیتی و شرایط بیرونی در مدیریت کاربری شهری برای رشد و توسعه پایدار تأکید کردند [31]. چینیکی و همکارانش (۲۰۱۹) در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی رابطه بین کاربری ترکیبی و سازگاری با کاربری اراضی در خلیج الجزایر» مدلی ترکیبی را برای سازگاری کاربری‌های شهری ارائه کردند. در این مدل تأثیر عوامل بیرونی را در تغییر کاربری‌های شهری مورد بررسی قرار داده و نتیجه‌گیری کردند کاربری ترکیبی نقش مهمی در ایجاد مناطق شهری پایدار دارد و به برقراری تعادل بین کاربری‌های شهری برای بهبود عملکردهای شهری کمک بیشتری می‌کنند [32]. رحمان و اسزبو (۲۰۲۱) در مقاله خود با عنوان «بهینه‌سازی کاربری اراضی شهری دارای چند هدف با استفاده از داده‌های مکانی: یک بررسی سیستماتیک» به موضوع بهینه‌سازی کاربری اراضی شهری پرداخته و نتیجه‌گیری کرده‌اند که فشرده‌سازی فضا و کالبد شهر و حداکثرسازی کاربری زمین برای رسیدن به پایداری شهری یک ضرورت است [33]. در حوزه داخلی و محلی نیز پژوهش‌هایی تاکنون ارائه شده است. میمند پاریزی و کاظمی‌نیا (۱۳۹۴) در مقاله خود با عنوان «ارزیابی سازگاری کاربری اراضی بر اساس مدل GIS-AHP و بررسی الگوی توزیع کاربری‌ها و تأثیرات آن‌ها بر کیفیت زندگی شهری، مورد شناسی: بافت قدیم شهر کرمان، حاکی از آن است که کاربری‌ها در بافت قدیم شهر کرمان در وضع موجود از نظر سازگاری، نظام توزیع و الگوی همجواری، هماهنگی چندانی با معیارهای برنامه‌ریزی شهری ندارند [34]. نتایج مقاله حاج علیزاده (۱۳۹۶) با عنوان ارزیابی و تحلیل مطلوبیت همجواری کاربری‌های عمومی بافت میانی (نمونه موردی شهرک سبلان اردبیل) نشان می‌دهد که کاربری صنعتی با ضریب اهمیت ۰/۲۹۸ بیشترین امتیاز و کاربری مسکونی با ۰/۱۴، کمترین امتیاز را از نظر ناسازگاری کاربری‌ها در محدوده مورد مطالعه به دست آوردند [35]. ابراهیم زاده و قادرمزی (۱۳۹۶) در مقاله خود با عنوان ارزیابی کمی و کیفی کاربری اراضی شهری با تأکید بر پایداری کاربری مسکونی، نمونه موردی: شهر دهگلان در استان کردستان، به این نتیجه رسیدند که محلات مسکونی شهر به لحاظ چگونگی استقرار کاربری‌ها تفاوت چشمگیری را نشان می‌دهند. به طوری که در اکثر محلات مسکونی به علت وجود کاربری ناسازگار یا به علت عدم وجود کاربری‌هایی که کاربری مسکونی به آن وابسته است، عدم سازگاری کاربری مسکونی مشاهده می‌گردد [36]. درویشی (۱۴۰۰) در مقاله خود با عنوان ارزیابی کمی و کیفی کاربری اراضی شهر با استفاده از ماتریس چهارگانه جهت رسیدن به اهداف توسعه پایدار شهری (مطالعه موردی: شهر مرند) به بررسی وضعیت کاربری اراضی شهر مرند پرداخته و نتیجه‌گیری کرده است کاربری‌های شهر مرند به لحاظ کیفی روند توزیع، استقرار و کارکردهای متقابل کاربری‌های شهری در شرایط فعلی منفی و نامناسب است و توزیع ناعادلانه برخی خدمات شهری باعث تمرکز بیشتر جمعیت در برخی نواحی شهر شده است [37]. ارزشانی و همکاران

شهری مطرح شده است که ماتریس‌های ۴ گانه سازگاری، مطلوبیت، ظرفیت و وابستگی را توجیه می‌کنند. اما نظریه‌هایی مانند نظریه اجتماعی-اقتصادی و کاربری زمین شهری، کارکردگرایی، فرهنگ‌گرایی، مدرنیسم و پست‌مدرنیسم، توسعه پایدار شهری و برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری مرتبط و مفید تشخیص داده شد که به طور خلاصه تبیین شده است.

نظریه اجتماعی-اقتصادی و کاربری زمین شهری: در این نظریه منافع و مالکیت عمومی در بعد اجتماعی و توجه به زمین و مسکن از بعد اقتصادی برای افزایش کارایی و مطلوبیت بخشی کیفیت زندگی شهروندان مورد تأکید است. به عبارت دیگر، از یک سو اراضی شهری نباید قربانی منافع خصوصی شود و از سوی دیگر، زمین و مسکن به عنوان یک کالای کمیاب اقتصادی باید تحت کنترل و برنامه‌ریزی قرار گیرد.

دیدگاه کارکردگرایی: این دیدگاه کاربری اراضی شهری را ابزاری برای سهولت و تقویت کارایی شهری می‌داند و بر سرانه‌های زمین در برنامه‌ریزی شهری تأکید می‌کند. استفاده از این نظریه در کاربری اراضی شهری، هدایت و نظارت هدفمند فرایند توسعه شهری بوده است [22].

دیدگاه فرهنگ‌گرایی: در این دیدگاه بر تقدّم شاخص‌های فرهنگی-اجتماعی در برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری و کاربری‌های مؤثر در زیبایی شهر تأکید می‌شود [23].

دیدگاه مدرنیسم: در دهه‌های اخیر منطقه‌بندی شهری براساس عملکردهای خاص بدون توجه به موقعیت، مکان، فرهنگ و سنت در تراکم‌های عمودی و آزاد و بر اساس سلسله مراتب شهری تحقق یافته است و فن‌گرایی نیز با توسعه عمودی و بلندمرتبه‌سازی تبلور داشته است. بنابراین، کاربری اراضی شهری برای تحقق اهداف این نظریه موضوع جدی و با اهمیت بوده است.

دیدگاه پست مدرنیسم: در این دیدگاه تلفیقی از عناصر قدیم و جدید و در فرایندی مشارکتی، برنامه‌های توسعه شهری و موضوع کاربری اراضی شهری مورد توجه است [24].

دیدگاه توسعه پایدار شهری: در این دیدگاه موضوع کاربری زمین از طریق استفاده بهینه و حداکثری درحال و آینده مورد توجه است [25]. همچنین، در این دیدگاه موضوعاتی مانند جلوگیری از آلودگی محیط شهری و ناحیه‌ای، کاهش ظرفیت‌های تولیدی محیط طبیعی، حمایت از بازیافت‌ها در شهر با رویکرد برنامه‌ریزی مطرح است [26]. با چنین رویکردی، شهر به لحاظ کالبدی و فضایی دارای فشرده‌گی و انسجام و از نظر اجتماعی و اقتصادی دارای برابری خواهد بود و از منظر توسعه پایدار شهری یک دستاورد مهم به شمار می‌رود [27].

دیدگاه برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری: این دیدگاه بر شخصی کردن نوع مصرف زمین در شهر، هدایت و ساماندهی فضایی شهر، تعیین ساخت‌ها و چگونگی انطباق آن‌ها با یکدیگر و سیستم‌های شهری تأکید دارد [28]. در برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری تلاش می‌شود تا الگوهای اراضی شهری به صورت علمی مشخص و مکان‌یابی فعالیت‌های مختلف در شهر در انطباق و هماهنگی با یکدیگر و سیستم‌های شهری قرار گیرند [29]. با این باور می‌توان برنامه‌ریزی شهری را با برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری و توسعه پایدار شهری هم جهت دانست [30]. دستاورد نظری دیدگاه‌های فوق در این مقاله از یک سو تطبیق وضع موجود کاربری‌ها با اصول شهرسازی و برنامه‌ریزی شهری برای رسیدن به پایداری فرایند توسعه شهری است و از سوی دیگر کاربست این دیدگاه‌ها در تطبیق و تحلیل چگونگی تغییر



Fig. 3 Bojnord city, separated by middle and peripheral texture

شکل ۳ شهر بجنورد به تفکیک بافت میانی و پیرامونی
منبع: [47]

این بافت وسعتی معادل ۱۸۵۵ هکتار دارد [47]. الگوی توزیع جمعیت تصادفی است، اما نسبت به بافت میانی تعادل بیشتری دارد. داده‌های تحقیق شامل مجموعه‌ای از کاربری‌ها و فعالیت‌هاست که مساحت ۱۸۵۲ هکتار شهر و در قالب ۱۲ حوزه بر مبنای میزان اهمیت و بیشترین سهم از کاربری‌ها تعیین و مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفته است. برای سهولت کار، کاربری‌ها و فعالیت‌ها به صورت تصادفی در ۷ گروه اصلی طبقه‌بندی شده و در جدول ۱ آرایه شده است (جدول ۱).

جدول ۱ نحوه استفاده از اراضی در شهر بجنورد

Table 1 How to use land in Bojnord

گروه اصلی فعالیت	مساحت (هکتار)	نسبت به کل (درصد)	سرانه مترمربع
سکونت (مسکونی)	۷۸۵/۶	۲۷/۵	۴۲/۲
کار و فعالیت (تجاری - کارگاهی)	۴۲/۳	۱/۵	۲/۳
خدماتی	۱۸۹/۷	۶/۶	۱۰/۲
تأسیسات و تجهیزات	۵۰/۱	۱/۸	۲/۷
اراضی بایر	۶۸۲/۵	۲۳/۹	۳۶/۶
کاربری‌های غیرشهری	۳۷۹/۹	۱۳/۳	۲۰/۴
شبکه رفت‌وآمد	۷۲۴/۳	۲۵/۴	۳۸/۹
جمع کل	۲۸۵۴	۱۰۰	۱۵۳/۲

منبع: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود، نزدیک به ۲۴ درصد از سطح شهر، اراضی بایر و ۱۳/۳ درصد را نیز کاربری‌های غیرشهری و در مجموع ۳۷/۳ درصد را به خود اختصاص داده است. گروه اصلی سکونت با ۲۷/۵ درصد اراضی و سرانه ۴۲/۲ مترمربع مسکن، بیشترین سطح، تأسیسات و تجهیزات شهری با ۱/۸ درصد کمترین میزان از اراضی سطح شهر را به خود اختصاص داده است.

نظر به اهمیت کاربری مسکونی و سهم آن در بین گروه‌های اصلی فعالیت، بررسی سازگاری و ناسازگاری در بحث همجواری کاربری‌ها و سنجش و ارزیابی کمی و کیفی این کاربری، مهم و قابل توجه است. تحلیل تطبیقی در این موضوع نیز می‌تواند راهگشای فهم پایداری شهری و رابطه آن با کاربری مسکونی از نظر سازگاری - پایداری و همجواری باشد. نتایج در دو بخش کمی و کیفی مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفته‌اند.

۵- یافته‌های تحقیق

مکان پژوهش شهر بجنورد مرکز استان خراسان شمالی با جمعیت ۲۲۸۹۳۱ نفر، بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهر استان است [40]. این شهر موقعیت مکانی مرکزی دارد و کارکرد عمده آن خدماتی، اداری و سیاسی است (شکل ۲).

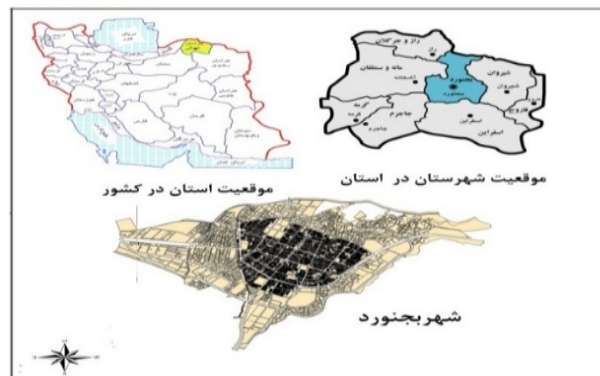


Fig. 2 Location of Bojnord city in North Khorasan Province

شکل ۲ موقعیت شهر بجنورد در استان خراسان شمالی
منبع: [41]

بجنورد با حاشیه‌های شهری وسعتی معادل ۲۸۵۴ هکتار، شامل محدوده و حوزه خدمات شهرداری را دربرمی‌گیرد که ۳۴/۸ درصد به صورت بایر و بدون استفاده رها شده است [42]. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق به مساحت ۱۸۵۲ هکتار شامل دو بافت با تفکیک فرضی به صورت بافت میانی و پیرامونی است.

• **بافت میانی:** شکل‌گیری بافت میانی، مربوط به تحولات شهرنشینی دهه‌های اول عصر حاضر است که وسعتی در حدود ۵۳۵ هکتار از مساحت شهر را شامل می‌شود [43]. حدود ۱۵۴ هکتار این بافت فرسوده است [44]. این بافت به دلیل قدمت بالا، مصالح با کیفیت نامناسب، ریزدانه بودن قطعات، همجواری نامناسب کاربری‌ها و دسترسی نامناسب به بیمارستان، مراکز درمانی و اورژانس و آتش‌نشانی آسیب‌پذیرتر از بافت‌های دیگر شهر است. در بافت میانی، توزیع متعادل جمعیتی وجود ندارد و الگوی تراکم و تمرکز تصادفی است [45]. متوسط قطعات مسکونی در این بافت بالای ۲۷۰ مترمربع مساحت دارد که بهترین وضعیت را در سطح شهر داراست [46]. از نظر شبکه معابر بیش از ۲۰ درصد معابر در این بافت جهت شرقی - غربی بوده و در انطباق با اقلیم منطقه قرار دارد. تراکم جمعیتی نیز بین ۷۹ تا ۱۳۴ نفر در هکتار متغیر است.

• **بافت پیرامونی:** شامل مناطق گسترش‌یافته، خارج از دو کمربندی شمالی و جنوبی شهر است. این بافت که محلات برنامه‌ریزی شده با الگوی شطرنجی، محلات خودرو با عملکرد روستایی و روستاهای ادغام شده، محصول توسعه سریع و ناموزون شهر پس از دهه ۱۳۴۰ است (شکل ۳).

۴. نسبتاً ناسازگار، میزان ناسازگاری بین دو کاربری از سازگاری آنها بیشتر است.
۵. کاملاً ناسازگار، دو کاربری بدون همخوانی و در تقابل با یکدیگر هستند.

از مهم‌ترین معیارها جهت تعیین سازگاری یا عدم سازگاری، می‌توان وابستگی کاربری، راحتی و آسایش، کیفیت هوا، کیفیت صدا، شبکه ارتباطی،

بو، دید و منظر و غیره را بیان کرد.

در این پژوهش، بر اساس اطلاعات وضع موجود کاربری‌ها، نحوه استقرار آنها و بر اساس میزان ظرفیت هر یک از کاربری‌های خدماتی، ماتریس سازگاری کاربری‌ها تدوین شده و چگونگی سازگاری کاربری‌ها در رابطه با همجواری ارزیابی و تحلیل شده و نتایج آن در جدول ۳ نمایش داده شده است. در جدول ۳، حالت کاملاً سازگار با عدد ۱، حالت نسبتاً سازگار ۲، حالت بی‌تفاوت ۳، حالت نسبتاً ناسازگار ۴ و حالت کاملاً ناسازگار با عدد ۵ نمایش داده شده است.

جمع عددی کمتر، بیانگر سازگاری و جمع عددی بیشتر، بیانگر بالاترین سطح ناسازگاری و مشکلات همجواری در بین کاربری‌هاست. نتایج نهایی حاصل از تحلیل یافته‌ها بیانگر آن است که فعالیت‌های شهری که با کاربری مسکونی ناسازگارند، شامل تأسیسات با جمع عددی ۵۰، انتظامی ۵۸، صنعتی-تولیدی ۶۴، گورستان ۷۶ و پارکینگ ۶۴ بوده و با توجه به وسعت کم شهر و کم بودن ترافیک شهری در یک نقطه خاص و به صورت متمرکز در یک خیابان به تمام شهر خدمات می‌رسانند، لذا در مکان‌های مذکور بیشترین آلودگی هوا و صدا و در نتیجه، بیشترین ناسازگاری و وضعیت ناپایداری را با کاربری مسکونی دارند.

همچنین، در بجنورد کاربری فضای سبز به صورت کاملاً نابرابر در بین حوزه‌های شهر توزیع شده است، به گونه‌ای که در بیشتر محلات سرانه این کاربری نزدیک به صفر و یا بسیار ضعیف است. از نظر مدیریت مالی و اقتصادی این مهم موجب تغییر راهبرد هزینه‌ای در بعد کارکرد مالی شهرداری با هدف ایجاد یا تأمین فضای سبز خواهد شد.

برای تعیین میزان سازگاری کاربری‌ها با کاربری مسکونی در سامانه اطلاعات جغرافیایی ابتدا عوامل مؤثر، شاخص‌ها و محدودیت‌ها (براساس تحقیقات صورت گرفته و همچنین، نظرهای کارشناسان شهرداری بجنورد و اداره کل راه و شهرسازی استان خراسان شمالی با توجه به تجارب ایشان در زمینه عوامل مؤثر در سازگاری کاربری‌ها) به صورت لایه‌های نقشه تهیه و مورد پردازش و تحلیل قرار گرفته است.

در این پژوهش، بر اساس عوامل مؤثر بر سازگاری و متناسب با نوع مدل کاربردی در تحقیق (AHP) و شناخت شرایط جغرافیایی، اجتماعی-اقتصادی، کالبدی و ... بجنورد و بهره‌گیری از نظرهای جامعه مورد مطالعه (بجنورد) با شاخص فاصله از کاربری مسکونی مشخص شدند و جهت تبدیل به لایه اطلاعاتی، به منظور شناخت مناطق اولویت‌دار برای سازگاری شناسایی شده و به منظور یافتن لایه سازگاری کاربری‌ها با کاربری مسکونی در قالب ۹ کاربری به شرح جدول ۳ دسته‌بندی شده‌اند.

برای ارزیابی کمی وضع موجود کاربری مسکونی از ۴ شاخص مساحت، تراکم، سرانه و جمعیت با توجه به میزان اهمیت و میزان تأثیرگذاری این شاخص‌ها استفاده شده است. به لحاظ شاخص‌های مسکونی، این ۴ شاخص بیانگر این است که مساحت ۱۲ حوزه مورد ارزیابی به ۱۸۵۲ هکتار و جمعیت آن ۷۴۶۸۰ نفر بوده است. بیشترین تراکم با ۱۱۷ نفر در حوزه ۶ و در بافت میانی شهر قرار دارد. در حالی که بیشترین مساحت اشغال شده به میزان ۲۶۲ هکتار و بیشترین جمعیت حوزه شهری به تعداد ۱۷۳۰۰ نفر به حوزه ۹ تعلق دارد. بیشترین سرانه مسکونی به میزان ۶۹/۶ مترمربع در حوزه ۸ شهر بجنورد بوده است (جدول ۲).

جدول ۲ شاخص‌های کمی شهر بجنورد به تفکیک حوزه‌های شهری

Table 2 Quantitative indicators of Bojnord city by urban areas

حوزه شهری	مساحت (هکتار)	جمعیت	تراکم	سرانه مسکونی
حوزه ۱	۲۲۸	۸۴۶۰	۳۷	۴۶.۴
حوزه ۲	۹۲	۶۳۴۰	۶۹	۳۹.۶
حوزه ۳	۵۷	۳۰۰۰	۵۲	۴۵.۷
حوزه ۴	۸۴	۶۰۶۰	۷۲	۴۲.۰
حوزه ۵	۱۳۷	۴۳۸۰	۳۲	۴۳.۲
حوزه ۶	۱۲۲	۱۴۳۰۰	۱۱۷	۳۷.۰
حوزه ۷	۱۷۴	۲۵۵۰	۱۵	۵۰.۱
حوزه ۸	۱۸۳	۸۴۰	۵	۶۹.۶
حوزه ۹	۲۶۲	۱۷۳۰۰	۶۶	۴۶.۷
حوزه ۱۰	۱۹۰	۷۶۵۰	۴۰	۴۲.۱
حوزه ۱۱	۲۰۳	۲۹۵۰	۱۵	۳۸.۱
حوزه ۱۲	۱۲۰	۸۵۰	۷	۵۵.۹

منبع: [48]

ارزیابی وضع موجود کاربری اراضی شهر بجنورد بیانگر این است که ارزیابی کمی کاربری‌های شهری به عوامل متعددی همچون فرهنگ، اقتصاد، اشتغال، موقعیت جغرافیایی، شرایط اقلیمی و غیره بستگی دارد.

حوزه‌های واقع شده در بافت حاشیه‌ای بجنورد به جز حوزه ۶ با توجه به تراکم کم و متوسط از ۲۷-۵۵ متر متغیر و با استاندارد سرانه‌های شهری ایران متناسب‌اند. در حالی که حوزه ۶ به همراه بافت میانی بجنورد که از تراکم جمعیتی بالاتری برخوردارند، کمبود نسبی سرانه مسکونی نسبت به استانداردهای پیشنهادی مشاهده شده است که این امر نشان‌دهنده عدم تعادل و تناسب لازم در بین محلات شهری بافت میانی و حوزه‌های بافت پیرامونی به لحاظ سرانه کاربری مسکونی است. از این رو در این قسمت ارزیابی کیفی کاربری اراضی شهر بجنورد از دو معیار سازگاری کاربری اراضی و همجواری این کاربری‌ها استفاده شده است.

کاربری‌های همجوار از نظر سازگاری در ۵ حالت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

۱. کاملاً سازگار، و فعالیت آنها کاملاً بر یکدیگر منطبق است.
۲. نسبتاً سازگار، هر دو کاربری متعلق به یک دسته با تفاوت

جزیی

۳. بی‌تفاوت، کاربری‌ها می‌توانند بدون اثر منفی کنار یکدیگر قرار گیرند.

جدول ۳ طبقه‌بندی و وزن‌دهی فاصله کاربری‌ها نسبت به کاربری مسکونی

Table 3 Classification and weighting of the distance of land uses compared to residential land use

کاربری‌ها	فاصله از کاربری مسکونی				
	۰-۷۵	۷۵-۱۵۰	۱۵۰-۳۰۰	۳۰۰-۵۰۰	۵۰۰+
آموزشی	۷	۹	۵	۳	۱
تجاری	۷	۹	۵	۳	۱
اداری	۹	۷	۵	۳	۱
تأسیسات	۱	۷	۹	۵	۳
ورزشی	۱	۳	۵	۷	۹
درمانی	۱	۹	۷	۵	۳
فضای سبز	۳	۵	۷	۹	۱
صنعتی-	۹	۷	۵	۳	۱
کارگاهی					
فرهنگی-	۱	۳	۵	۷	۹
مذهبی					

منبع: یافته‌های تحقیق

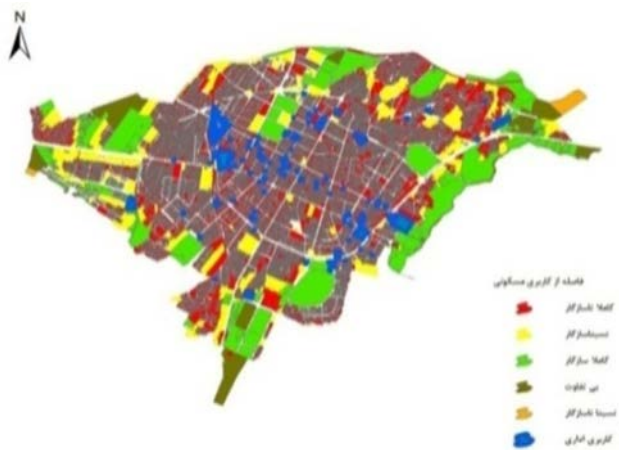


Fig. 4 Status of educational use with residential use in Bojnord

شکل ۴ وضعیت کاربری آموزشی با کاربری مسکونی

کاربری تجاری: در شهر بجنورد سهم عمده کاربری تجاری به خرده‌فروشی اختصاص دارد. بیشترین امتیاز (۹) به کمترین فاصله (۰-۷۵) از کاربری مسکونی داده شده است. لذا با توجه به اینکه بیشترین واحدهای تجاری در مرکز شهر استقرار دارند، همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، کاربری تجاری از وضعیت مطلوب همجواری نسبت به کاربری مسکونی به ویژه در بافت میانی برخوردار است (شکل ۵).



Fig. 5 Status of business use with residential use in Bojnord

شکل ۵ وضعیت کاربری تجاری با کاربری مسکونی

کاربری اداری: حدود ۱۱ درصد این کاربری در مکان‌های پیشنهادی طرح تفصیلی تحقق یافته است، درحالی که حدود ۶۵ درصد مساحت پیش‌بینی شده را شامل می‌شود. در کاربری اداری، به دلیل ایجاد مزاحمت‌ها و مشکلاتی از جمله ایجاد ازدحام جمعیت، ترافیک و مشکلاتی از این قبیل و همچنین، نیاز به دسترسی سریع‌تر و آسان و بهتر به این کاربری بیشترین وزن (۹) به فاصله ۳۰۰ - ۱۵۰ متر از کاربری مسکونی داده شد و کمترین فاصله کاربری اداری با کاربری مسکونی کمترین وزن (۱) را به خود اختصاص داده است.

به دلیل اینکه در بجنورد کاربری اداری بیشتر در بافت میانی شهر و در فواصل کمی نسبت به کاربری مسکونی قرار دارد، وضعیت نامطلوبی دارد (شکل ۶).

به منظور تعیین میزان همجواری مطلوب کاربری‌ها که بیشترین سازگاری را با کاربری مسکونی دارند، برای تهیه نقشه‌ها، از نرم‌افزار Arc GIS و برای تعیین فاصله مناسب، از ابزار تعیین فاصله یا Distance استفاده شده است. بنابراین، هریک از کاربری‌ها با توجه به وسعت و جمعیت شهر برای تعیین مناسب‌ترین فاصله با کاربری مسکونی در پنج دسته طبقه‌بندی شده و با توجه به نظر کارشناسان از ۱ تا ۹ وزن‌دهی شده که به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه‌ها و شکل‌های هریک از کاربری‌ها ترسیم و به شرح زیر ارائه شده است:

کاربری آموزشی: با توجه به طرح تفصیلی شهر بجنورد از ۵۸ درصد مساحت پیش‌بینی شده ۱۰ درصد این کاربری تحقق یافته است. کاهش تحرکات جمعیتی و جمعیت لازم التعلیم موجب کاهش نیاز به این کاربری شده است. در ارتباط با کاربری آموزشی و سازگاری آن با کاربری مسکونی، هرچه فاصله کمتر باشد، بیشترین وزن (۹) را به خود اختصاص می‌دهد و هرچه فاصله بیشتر باشد، وزن آن کمتر (۱) خواهد بود.

لذا در همجواری کاربری آموزشی با کاربری مسکونی بیشترین امتیاز به فاصله ۷۵-۱۵۰ و کمترین امتیاز به دلیل عدم دسترسی آسان ساکنان به فاصله بیشتر از ۵۰۰ متر اختصاص یافت. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، همجواری کاربری آموزشی با کاربری مسکونی از وضعیت نسبتاً سازگار و در مواردی کاملاً سازگار برخوردار بوده که وضعیت پایداری را به نمایش گذاشته است. همچنین، مشاهده می‌شود این کاربری در بافت پیرامونی شهر به صورت نامتعادل توزیع شده است (شکل ۴).

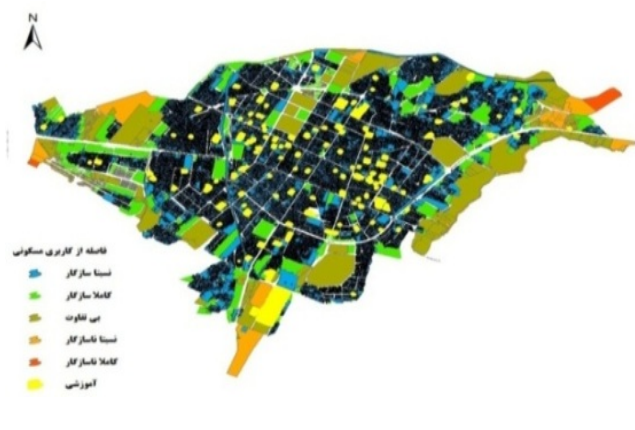


Fig. 8 Status of sports with residential use in Bojnord

شکل ۸ وضعیت کاربری ورزشی با کاربری مسکونی

کاربری درمانی: کاربری درمانی در ۱۳ درصد مکان‌های پیشنهادی در طرح تحقق یافته که ۵۴ درصد مساحت پیشنهادی را شامل می‌شود. قیمت بالای زمین در قطعات پیشنهادی بافت میانی زمینه ناتوانی در تملک اراضی و عدم تحقق این کاربری مهم مؤثر بوده است. در رابطه با کاربری درمانی کمترین امتیاز (۱) به فاصله بالای ۵۰۰ متر داده شده است؛ زیرا فاصله زیاد درمانگاه از مناطق مسکونی باعث ایجاد تلفات بیشتر در مواقع اضطراری می‌شود. در این شهر بیشترین امتیاز (۹) به فاصله ۵۰۰ - ۳۰۰ متر داده شده است. با توجه به تحلیل نقشه همجواری کاربری درمانی همجواری نسبتاً سازگار در بیشتر شهر و به ویژه نواحی مرکزی دیده می‌شود (شکل ۹).



Fig. 9 Status of health with residential use in Bojnord

شکل ۹ وضعیت کاربری درمانی با کاربری مسکونی

کاربری فضای سبز: در طرح تفصیلی شهر ۳۲ درصد سطوح به فضای سبز اختصاص یافته و ۵۸ درصد تغییر کاربری یافته و شهر با کمبود شدید فضای سبز عمومی مواجه است. در این پژوهش، کاربری فضای سبز که یکی از مهم‌ترین کاربری‌ها در پایداری مسکونی است، با توجه به موقعیت و وسعت بجنورد و ویژگی‌های اقلیمی منطقه، با میانگین بارش سالانه ۲۸۰ میلی‌متر، نزدیکترین فاصله از این کاربری با کاربری مسکونی بالاترین وزن و امتیاز (۹) را به خود اختصاص داده است و با فاصله گرفتن این کاربری از کاربری مسکونی، از امتیاز آن کاسته می‌شود.

لذا با توجه به کمبود شدید کاربری فضای سبز به‌خصوص در نواحی پرتراکم بافت میانی، بیشترین سازگاری و پایداری مشاهده می‌شود (شکل ۱۰).



Fig. 6 Status of official use with residential use in Bojnord

شکل ۶ وضعیت کاربری اداری با کاربری مسکونی

کاربری تأسیسات شهری: ۲۸ درصد این کاربری در طرح تفصیلی محقق شده و ۸۴ درصد مساحت پیشنهادی را شامل می‌شود. در کاربری تأسیسات شهری به سبب مشکلات زیست‌محیطی بیشترین وزن (۹) به دورترین فاصله (۵۰۰+) از کاربری مسکونی تعلق گرفته است. با توجه به شکل ۷ کاربری تأسیسات شهری در مراکز نواحی توزیع شده و عدم همجواری مطلوب برای این کاربری به ویژه در بافت پیرامونی مشاهده می‌شود (شکل ۷).



Fig. 7 Status of urban facilities with residential use in Bojnord

شکل ۷ وضعیت کاربری تأسیسات شهری با کاربری مسکونی

کاربری ورزشی: حدود ۹۸ درصد این کاربری در طرح تفصیلی تغییر پیدا کرده و از ۱۸ درصد مساحت پیش‌بینی شده در طرح، فقط ۴ درصد با مکان‌یابی پیشنهادی در طرح مطابقت دارد [49]. به دلیل ناتوانی در تملک زمین توسط بخش خصوصی، وضعیت این کاربری در شهر نامطلوب و به علت سروصدای ناشی از فعالیت، این کاربری کمترین امتیاز (۱) به فاصله ۷۵ - ۰ متر از کاربری مسکونی داده شده است، اما به دلیل توازن در تعادل فضایی، در این کاربری بیشترین وزن (۹) به فاصله ۱۵۰ - ۷۵ متر داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، موقعیت قرارگیری کاربری ورزشی با توجه به فاصله کم آن از نواحی مسکونی بافت میانی شهر در وضعیت همجواری نامناسبی قرار گرفته است. وضعیت این کاربری در بافت پیرامونی بجنورد نیز با توجه به فاصله نسبتاً کم آن از نواحی مسکونی و سطح اشغال بیشتر این کاربری در این ناحیه، در وضعیت نسبتاً نامطلوب و ناپایدار قرار گرفته است.

حاصل از تحلیل نقشه کاربری مذهبی بجنورد، بیشترین عدم مطلوبیت کاربری‌ها در بخش مرکزی شهر دیده می‌شود (شکل ۱۲).



Fig. 12 Status of cultural-religious with residential use in Bojnord

شکل ۱۲ وضعیت کاربری فرهنگی-مذهبی با کاربری مسکونی



Fig. 10 Status of green space with residential use in Bojnord

شکل ۱۰ وضعیت کاربری فضای سبز با کاربری مسکونی

۶- نتیجه‌گیری

شتاب در رشد و توسعه نابسامان شهری توجه به نظام برنامه‌ریزی کاربری اراضی را دوچندان کرده است. به‌طوری‌که برنامه‌ریزی کاربری اراضی به عنوان اساس و کانون برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی درآمده است. با این روند تناسب و سختیت کاربری مسکونی به عنوان اصلی‌ترین کاربری شهری با دیگر کاربری‌های شهری امری ضروری در اقتصاد و مدیریت شهری بوده و سازگاری کاربری‌ها با کاربری مسکونی و انطباق‌پذیری کاربری‌ها با آن مهم است، چرا که سامان‌یابی فضایی-مکانی کاربری‌ها برای تحقق توسعه پایدار شهری یک ضرورت به شمار می‌رود.

سنجش و ارزیابی کاربری‌های مورد پژوهش در این تحقیق نشان داد، نحوه استقرار کاربری اراضی در بجنورد و توزیع این کاربری‌ها به‌ویژه کاربری مسکونی در راستای واگرایی بوده و به تشدید نابرابری و عدم تعادل از نظر سازگاری و مطلوبیت با استانداردهای شهری کمک کرده است. به‌طوری‌که از نظر سازگاری کاربری تولیدی-کارگاهی با توجه به وسعت و نوع تولید محصول و قرارگیری در بافت‌های مسکونی در تضاد کارکردی با کاربری مسکونی قرارگرفته‌اند. از نظر مطلوبیت نیز کاهش میزان مطلوبیت کاربری مسکونی با کاربری آموزشی در شهر بجنورد آشکار است.

بنابراین، این روند می‌تواند در چالش‌های مدیریت شهری در حوزه کالبدی و هدایت شهر به سوی توسعه ناپایدار مؤثر باشد. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد عدم تحقق کاربری‌های مصوب و توزیع نامناسب و ناسازگار کاربری‌ها با کاربری مسکونی روند نابسامانی را آشکار کرده و کارکرد مدیریت شهری را در هدایت بهینه شهر در ابعاد کالبدی-فیزیکی و تحقق‌پذیری کاربری‌های مصوب را با چالش مواجه کرده است. بررسی تطبیقی سازگاری کاربری اراضی شهر بجنورد در این پژوهش تأیید می‌کند کاربری‌های تأسیسات شهری و انتظامی بیشترین ناسازگاری را نسبت به کاربری‌های دیگر داشته و در مقابل، اراضی خالی، فضای سبز، فضای آموزشی و... کاربری‌هایی بودند که کمترین امتیاز (۱) در ماتریس سازگاری را داشتند. نتایج ارزیابی کمی کاربری مسکونی به دلیل تمرکز و تراکم انواع فعالیت‌های تجاری-اداری و آموزشی، نشان‌دهنده کمبود سرانه مسکونی به‌ویژه در بخش‌های پرتراکم شهری، مانند: بافت پیرامونی و حاشیه شهر است.

کاربری صنعتی-کارگاهی: این طرح در طرح تفصیلی ۴۰ درصد تحقق نیافته و ۵۲ درصد تغییر کاربری داده شده است. در همجواری کاربری مسکونی با کاربری صنعتی-کارگاهی، به دلیل ایجاد آلودگی (صوتی، هوا، آب) و همچنین، ایجاد مزاحمت بعضی از فعالیت‌های صنعتی و کارگاهی برای کاربری مسکونی، بیشترین امتیاز (۹) به فاصله بیشتر از ۵۰۰ متر و کمترین امتیاز (۱) به فاصله ۰-۷۵ اختصاص یافته است. با توجه به شکل ۱۱ همجواری کاربری صنعتی-کارگاهی با کاربری مسکونی وضعیت کاملاً ناسازگاری دارد، به ویژه در قسمت‌های غربی بافت پیرامونی که تعداد این کاربری افزایش می‌یابد (شکل ۱۱).



Fig. 11 Status of industrial-production with residential use in Bojnord

شکل ۱۱ وضعیت کاربری صنعتی-کارگاهی با کاربری مسکونی

کاربری فرهنگی-مذهبی: در طرح تفصیلی ۵۹ درصد کاربری فرهنگی تحقق نیافته که به دلیل کاهش اهمیت این کاربری (سینما، فرهنگسرا، کتابخانه و...) در نزد مدیران بوده است. اما کاربری مذهبی به دلیل مشارکت عمومی در وقف زمین و سرمایه‌گذاری عمومی، وضعیت مطلوب دارد و ۷۲ درصد تحقق یافته است. به منظور دسترسی هرچه راحت‌تر و با توجه به اینکه این دو کاربری در بعضی از ایام سال محل برگزاری آیین‌های مذهبی و فعالیت‌های فرهنگی است و همراه با تجمع عده‌ای از ساکنان است، بیشترین امتیاز را به فاصله ۱۵۰-۷۵ متر داده شده است. لذا با توجه به یافته‌های

- International Journal of Applied Earth Observation and Geo Information, Vol. 9 (4), pp. 368-383, 2008. (in Persian فارسی)
- [8] S. Bahernia, H. Nazmfar, B. Mohsenzadeh, Investigating the effect of residential user criteria in the reduction of Crime in Metropolis of Tabriz, *Geography and Planning*, Vol. 24(71), pp. 23-43, 2020. (in Persian فارسی)
- [9] A. Saaidnia, *Urban Land Use, Green Book of Municipalities Guide*, Volume 2, Third Edition, Publications of Municipalities and Villages Organization, Tehran, 2004. (in Persian فارسی)
- [10] A. Firouzbakht, A. Parhizgar, V. Rabifar, Strategies of Environmental Structure City with Approach Urban Sustainable Development (Case Study: City of Karaj), *Human Geography Research*, Vol. 44(80), pp. 213-239, 2012. (in Persian فارسی)
- [11] Z. Turskis, K. Zavadskas, J. Zagorskas, *Sustainable City Compactness Evaluation on the Basis of GIS and Bayes Rule*, International Journal of Strategic Property Management, No. 10, pp. 207-185, 2006.
- [12] V. Shahrokh, S. Ayoubi, Land Suitability Evaluation using Analytical Hierarchy Process Technique in Zarrinshahr and Mobarakeh (Isfahan), *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization*, (Scientific Journal of Agriculture), Vol. 37(1), pp. 77-92, 2014. (in Persian فارسی)
- [13] A. A. Taghiloo, Analysis of Land-use suitability in the metropolitan County of Orumiyeh in line with spatial planning, *Journal of space economy and rural development*, Vol. 5(16), pp. 55-72, 2016. (in Persian فارسی)
- [14] S. Mohammadi Dust, M. Khanizadeh, An Evaluation of Urban Land Use in Zarghan Using an Environmental Quality Approach, *Quarterly Journal of environmental based territorial planning*, Vol. 11(43), pp. 21-46, 2019. (in Persian فارسی)
- [15] I. Ebrahimzadeh, A. Mojir Ardakani, Urban Land Use Assessment of Ardakan Fars, *Geography and Development Quarterly*, No. 7, pp. 68-43, 2006. (in Persian فارسی)
- [16] M. R. Pourmohammadi, *Urban Land Use Planning*, First Edition, Samat Publications, Tehran, 2003. (In Persian فارسی)
- [17] A. Khajeh Shahkooi, H. Karimzadeh, M. Hosseinejad, Implementation of Neighborhood Matrices to Assess the Adaptation of Urban Uses by Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Method, Case Study: Educational Uses of Gorgan High School, *Journal of Geography and Environmental Sustainability*, No. 5, pp. 71-92, 2012. (in Persian فارسی)
- [18] I. Ali Akbari, O. Emad al-Din, Quantitative and qualitative evaluation of urban land uses with emphasis on distribution system and neighborhood pattern (Case study: District one of Gorgan, *Quarterly Journal of Human Geography Research*, Vol. 44(172), pp. 79-157, 2012. (in Persian فارسی)
- [19] A. Shamaei, M. Jan Babanejad, Z. Zamani, Evaluation of urban land use indicators with emphasis on the desired per capita of a healthy city, Case study: Babol, *Journal of Geography and Planning*, No. 54, pp. 170-143, 2015. (in Persian فارسی)
- [20] J. Harvey, The Pattern of Urban Land Use, In: *Urban Land Economics*, Palgrave, London. https://doi.org/10.1007/978-1-349-24441-6_14, 1996.
- [21] A. Zarabi, H. Varesi, M. Ghanbari, Land use analyzing in new town of Binalood, *Spatial Planning*, Vol. 2(1), pp. 49-66, 2012. (in Persian فارسی)
- [22] K. Ziyari, S. Hosseini, M. Minaei, Transformation in the concept and paradigm of land use planning, *Planning and arranging space*, Vol. 14(2), pp. 43-60, 2011. (in Persian فارسی)
- [23] A. Bagheri, An Analysis of Urban Land Use: Khorasgan City, M.Sc. Thesis, University of Isfahan, Isfahan, 2001.
- [24] K. Ziyari, *Urban Land Use Planning*, Eighth Edition, University of Tehran Press, Tehran, 2010. (in Persian فارسی)
- [25] J. Zagorskas, M. Burinskiene, E. Zavadskas, Z. Turskis, *Urbanistic assessment of city compactness on the basis of GIS applying the COPRAS method*, Ekologija, No. 53, pp. 55-63, 2007.
- [26] M. Hilden, *Guidelines for Environmental Impact Assessment (EIA) in the Arctic*, Finnish Ministry of the Environment, 1997.
- [27] C. Zeng, A. Zhang, L. Liu, L. Yu, Administrative restructuring and land-use intensity—A spatial explicit perspective, *Land Use Policy Journal*, No. 67, pp. 190-199, 2017.
- نتایج ارزیابی همجواری کاربری‌ها نسبت به فاصله از کاربری مسکونی در این پژوهش نشان داد که فاصله مناسب کاربری مسکونی نسبت به کاربری‌های تأسیسات شهری، تولیدی-کارگاهی و ورزشی رعایت نشده است و قرارگیری این کاربری‌ها در مجاورت بافت‌های مسکونی، سبب ایجاد آلودگی و ناسازگاری و همچنین، عدم تناسب با اصول توسعه پایدار شهری شده است. از نظر آسایش و امنیت نیز کاربری‌های ناسازگار، مانند: بهداشتی-درمانی و مراکز نظامی در کنار کاربری‌های آموزشی باید در اولویت اصلاح باشد.
- این روند مسئولیت حقوقی و اجتماعی شهرداری و شورای اسلامی شهر بجنورد را در کاهش تغییر غیراصولی کاربری‌ها و مدیریت مطلوب کاربری اراضی شهری دوچندان می‌کند. نقطه قوت این پژوهش اتکا به مقایسه سطوح به جای قطعات شهری بوده است. همچنین، در این پژوهش تمامی لایه‌ها با هم ترکیب و همپوشانی شده و نقشه نهایی در مورد سازگاری کاربری‌های انتخابی نسبت به کاربری مسکونی ارائه شد.
- در راستای تحقق هدف تحقیق و توسعه پایدار شهری پیشنهادها و راهبردهای اصلاحی و اجرایی زیر ارائه شده است:
- در فرایند طراحی شهری توجه خاصی به همجواری کاربری‌ها با هدف حداکثرسازی سازگاری و در راستای آمایش شهری صورت گیرد.
 - ضرورت دوری از کاربری‌های مضر و تهدیدزا، مانند: صنعتی و کارگاهی در همجواری کاربری مسکونی مورد توجه جدی مدیریت شهری قرار گیرد.
 - سازگاری و همجواری کاربری‌های شهری باید در سطوح شهری (و نه قطعاتی) مورد ارزیابی و سنجش قرار گیرد تا امکان اصلاح و برنامه‌ریزی به موقع در راستای مطلوبیت‌بخشی فراهم شود.
 - در محدوده تحقیق، تغییر کاربری‌های کاملاً ناسازگار در محلات مسکونی بافت میانی شهر بجنورد، مانند: محله سبزه میدان باید تقویت شود.
 - کمبود سرانه کاربری‌های فضای سبز و آموزشی در حاشیه‌های جنوبی دو طرف خروجی شهر به سمت اسفراین و حوزه شمالی شهر، مانند: محلات جوادیه باید جبران شود.
 - متعادل‌سازی توزیع خدمات شهری در دو بافت میانی و پیرامونی، تقویت خدمات‌رسانی بهینه به شهروندان و بهبود دسترسی آسان ساکنان به کاربری فضای سبز در تمام شهر می‌تواند کارآمدترین و مؤثرترین اقدامات باشد.

۷- منابع

- [1] A. Nejad, R. Razeghi, F. Arvin, Evaluation of components of space quality in urban sidewalks (Case study: Rasht Cultural Sidewalk), *Journal of Geography and Planning*, Vol. 23(69), pp. 19-40, 2019. (in Persian فارسی)
- [2] M. Chandio, S. Yousif, I. Talpur, H. Fahad, Urban Land Use Planning Trend and Sustainable Challenges in Socio-Economic Development, Mehran University Research, *Journal of Engineering and Technology*, Vol. 37 (2), pp. 397-404, 2018.
- [3] A. Rezaei Moghaddam, The Impact of Land Use on the Urban Environment, Sixth National Conference on Urban Planning and Management, Proceedings, Mashhad, 2014. (in Persian فارسی)
- [4] A. Rahimi, Urban land use changes and its impact in public urban land use in Tabriz, *Geography and Planning*, Vol. 21(59), pp. 65-88, 2017. (in Persian فارسی)
- [5] M. T. Razavian, *Basics of urban land use planning*, First edition, Tehran, Munshi Publications, 2002. (in Persian فارسی)
- [6] A. Asgari, A. Razani, P. Rakhshani, *Urban Land Use Planning (Systems and Models)*, Tehran, Noor Alam Publications, 2002. (in Persian فارسی)
- [7] M. Taleai, A. Sharifi, R. Sliuzas, M. Mesgari, *Evaluating the Compatibility of Multi-functional and Intensive Urban Land Uses*,

- [46] Fajr and Development Consulting Engineers, High-ranking feasibility study plan in Bojnord city, Bojnord municipality, Bojnord, 2007. (in Persian فارسی)
- [47] K. Ziyari, H. Parsipour, N. Aliabadi, Inner texture of cities: A potentiality to move toward the compact city pattern (Case study: Bojnord City), *Journal of Geography and Regional Development*, Vol. 10(19), pp. 215-236, 2013. (in Persian فارسی)
- [48] M. Zamiri, M. Nastaran, H. Mohammad Zade Titkanlu, Analyzing form and trend of spatial and physical development of Bojnord (Using quantitative methods), Vol. 6(23), pp. 167-180, 2014. (in Persian فارسی)
- [49] F. Noorian, G. Vahidi Borji, Associate Professor, Faculty of Urbanism, University of Tehran, Iran, *Town and Country Planning*, Vol. 7(1), pp. 49-69, 2015. (in Persian فارسی)
- [28] Y. Ziyari, M. Hossein Mardi, Study and analysis of urban land use and weighting of location criteria for CNG gas station stations using AHP model, Case study: Tehran 4 gas districts, *Quarterly Journal of New Attitude in Geography Human*, Vol. 2 (1), pp. 52-39, 2009. (in Persian فارسی)
- [29] K. Ziyari, A. Minayi, R. Ziari, S. Ziari, Land use planning in Garmi city, *Geography and Urban Space Development*, No. 1, pp. 27-49, 2012. (in Persian فارسی)
- [30] J. Yang, J. Gui, X. Huang, C. Kun, H. Meng, Sustainability Article How to Measure Urban Land Use Intensity? A Perspective of Multi-Objective Decision in Wuhan Urban Agglomeration, China, *Sustainability Journal*, Vol. 10(3874), pp. 1-15, 2018.
- [31] A. M. Hersperger, E. Oliveira, S. Pagliarin, G. Palk, P. Verburg, J. Bolliger, S. Grădinaru, Urban land-use change: The role of strategic spatial planning, *Global Environmental Change*, Vol. 51, pp. 32-42, 2018.
- [32] K. Cheniki, A. Baziz, B. Boudiaf, Evaluating Relationship between Mixed-land Use and Land-use Compatibility in Algiers Bay, *International Journal of Environmental and Science Education*, Vol. 14(7), pp. 389-404, 2019.
- [33] M. Rahman, G. Szabo, Multi-objective urban land use optimization using spatial data: A systematic review, *Sustainable Cities and Society*, Vol. 74, pp.1-16, 2021.
- [34] S. Meymandi Parizi, A. Kazemi Nia, Land use Compatibility Assessment Based on GIS-AHP model and Study the Usages Distribution Pattern and their Impact on the Quality of Urban Life (Case study: the old texture of Kerman city), *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, Vol. 5(17), pp. 209-226, 2016. (in Persian فارسی)
- [35] A. Hajalizade, Assessment and analysis of public utility user neighboring central tissue (case study of Sabalan, Ardebil), *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, Vol. 5(2), pp. 71-84, 2018. (in Persian فارسی)
- [36] I. Ebrahimzadeh, J. Ghadermazi, Qualitative and quantitative assessment of urban land use with an emphasis on sustainability of residential areas, Case Study; Dehgolan City (Kurdistan Province), Vol. 10(38), pp.1-27, 2017. (in Persian فارسی)
- [37] Y. Darvishi, Quantitative and qualitative evaluation of urban land use using quadratic matrix to achieve sustainable urban development goals (Case study of Marand city), *Human Geography Research*, 53(2), pp. 733-750, 2021. (in Persian فارسی)
- [38] M. Arzamani, M. Vatanparast, M. Motamedi, Analysis of Urban Regeneration in terms of Physical Dimension, Case Study: Bojnord City, *Sustainable city*, Vol. 3(2), pp. 93-104, 2020. (in Persian فارسی)
- [39] M. Jomehpour, S. Ettehad, F. Nourian, Explaining the principles, dimensions and components of the ecological city approach (case study of Bojnord city), *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, Vol. 8(2), pp. 391-413, 2020. (in Persian فارسی)
- [40] North Khorasan Province Management and Planning Organization, North Khorasan Province Economic and Social Report, Statistics and Information Management, Bojnord, 2018. (in Persian فارسی)
- [41] A. A. Pilehvar, H. Ghazaleh, *Assessment and Zoning of Bojnord City in Terms of Seismic Hazards*, Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, Vol. 4(2), pp. 501-511, 2019.
- [42] F. Noorian, G. Vahidi Borji, Associate Professor, Faculty of Urbanism, University of Tehran, Iran, *Town and Country Planning*, Vol. 7(1), pp. 49-69, 2015. (in Persian فارسی)
- [43] K. Ziyari, H. Parsipour, N. Aliabadi, Inner texture of cities: A potentiality to move toward the compact city pattern (Case study: Bojnord City), *Journal of Geography and Regional Development*, Vol. 10(19), pp. 215-236, 2013. (in Persian فارسی)
- [44] M. M. Azizi, S. Yarmohammadi, The Effects of a Country's New Divisions on Urban Sprawl, The Case Study: Bojnord City, Iran, Honar-Ha-Ye-Ziba: Memary Va Shahrzazi, Vol. 19(2), pp. 103-116, 2014. (in Persian فارسی)
- [45] M. Arzamani, M. Vatanparast, M. Motamedi, Analysis of Urban Regeneration in terms of Physical Dimension, Case Study: Bojnord City, *Sustainable city*, Vol. 3(2), pp. 93-104, 2020. (in Persian فارسی)