کاربرد مدل‌هاي رگرسيوني در برآورد بار آلودگي رواناب شهري[۱]

نعمت‌ا... خراساني[۲] افسانه شهبازي[۳] مجيد سرتاج[۴] كاظم نصرتي[۵]

چکيده

در نواحي شهري، درنتيجة افزايش سطوح نفوذناپذير، حجم زيادي از بارندگي به‌صورت رواناب به منابع پذيرنده(شامل آب‌هاي سطحي و زيرزميني) انتقال مي‌يابد. به‌طوركلي منظور از رواناب‌هاي شهري آب‌هايي است كه در سطوح شهري در اثر بارش باران و يا آب حاصل از ذوب برف توليد و با توجه به حمل زياد بار رسوبي از مهم‌ترين منابع آلوده‌كننده آب‌ها محسوب مي‌گردد. در اين تحقيق با نمونه‌گيري لحظه‌اي از رواناب خروجي يكي از حوضه‌هاي شهر اصفهان در ۱۳ رخداد بارندگي در فصل‌هاي پاييز و زمستان ۱۳۸۱ و اندازه‌گيري ۱۰ پارامتر كيفي و كمي رواناب به بررسي كيفيت رواناب پرداخته شد. به منظور مدل‌سازي بار آلودگي رواناب با استفاده از تكنيك‌هاي آماري چند متغيره چهار فاكتور اكسيژن خواهي شيميايي، كل جامدات معلق، نيترات و دبي متوسط جريان به عنوان عامل‌هاي اصلي براي ورود به مدل رگرسيوني شناخته و مدل رگرسيوني مناسب با كمترين خطا(۰/۰۰۹) و بيشترين ضريب همبستگي(۰/۹۹۸) براي برآورد بار آلودگي رواناب خروجي ارايه شد. پارامترهاي ورودي به مدل پارامترهاي كل جامدات معلق و اكسيژن خواهي شيميايي بود. در مرحله بعد به منظور صحت مدل با استفاده از داده‌هاي دو رخداد كه در مدل شركت داده نشدند، معيارهاي خطا برآورد شدند كه همگي دال بر كفايت و صحت مدل به‌دست آمده بود. با كمك اين مدل مي‌توان با اندازه‌گيري دو پارامتر ورودي مدل كل بار آلودگي رواناب خروجي را در رخدادهاي آتي برآورد نمود. همچنين مدل رگرسيوني ديگري بر اساس ويژگي‌هاي بارش ارايه شد كه استفاده از آن بسيار راحت‌تر و ساده مي‌باشد ولي از دقت كمتري برخوردار است.

نتايج اين مطالعه مي‌تواند براي مديران منابع آب، برنامه‌ريزان شهري و مسئولين محيط زيست در براي كنترل آلودگي رودخانه زاينده رود و حفظ شرايط زيست محيطي آن و همچنين مديريت صحيح رواناب‌هاي شهري مفيد واقع گردد.

واژه‌هاي كليدي: *رواناب شهري، نمونه‌گيري لحظه‌اي، تكنيك‌هاي آماري چند متغيره، بار آلودگي، مدل رگرسيوني.*

[۱] -تاريخ دريافت: ۸۲/۶/۲۲، تاريخ پذيرش: ۸۲/۱۰/۲۹

[۲] - استاد دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران **(Email: Khorasani@ut.ac.ir)**

[۳] – فارغ‌التحصيل كارشناس ارشد محيط زيست دانشگاه تهران

[۴] – عضو هيات علمي دانشگاه صنعتي اصفهان

[۵] –عضو هيات علمي دانشكده كشاورزي داراب، دانشگاه شيراز

مقدمه

به‌طوركلي منظور از رواناب‌هاي شهري آب‌هايي است كه در سطوح شــهري در اثر بارش بـاران و يـا آب حاصل از ذوب برف توليد و بـه سـمت منـابع آب پذيرنـده سـرازير مي‌گردند. توسعه شـهري بـه دو دليـل عمـده زيـر باعـث افزايش مقدار آلاينده‌هاي موجود در روانـاب‌هـاي شـهري مي‌گردد:

۱- در نواحي شهري به‌دليـل تبـديل زمـين‌هـاي آزاد بـه خيابان، ساختمان، پاركينگ‌هاي بزرگ و مراكـز تجـاري و درنتيجه افزايش سطوح نفوذناپذير، باعـث مـي‌گـردد كـه حجم زيادي از بارندگي، امكان و فرصت نفـوذ در خـاك را نيابد و ابتدا بر روي سطوح نفوذناپـذير شـهري انباشـته و سپس به سمت نواحي گود و پست شهر هجوم آورد (۸).

۲- دليل دوم شدت كـاربري اراضـي در نـواحي شـهري و رهـاسـازي مقـدار زيـادي از مـواد آلاينـده گونـاگون در محيط‌زيست مي‌باشد (۱۰).

بر اساس نظر گرام[۱] و هانس[۲](۱۹۹۷) هر گونه تغيير در ويژگي‌هاي طبيعي آب كه اثر نامطلوبي بر سلامت محـيط زيست, فعاليت‌هاي بشـر و سـاير جانـداران داشـته باشـد آلودگي آب ناميده مي‌شود. آلودگي رودخانه‌ها را بر مبناي منبع توليد كننده آنها به دو گروه تقسيم بندي مـي‌كننـد كه عبارتند از:

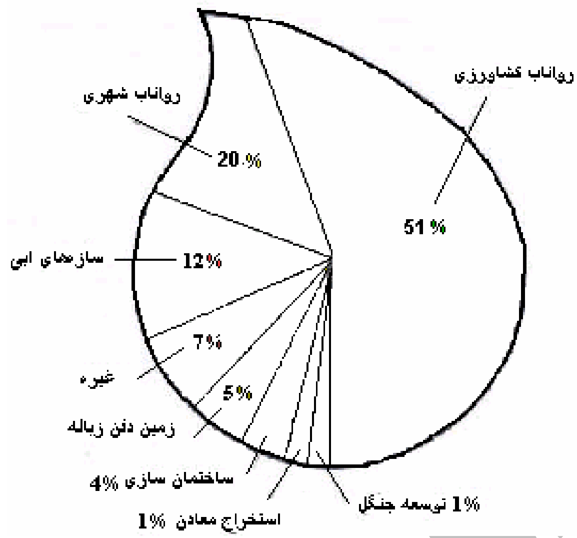
۱-آلودگي با منبع مشخص[۳](آلودگي نقطه اي)،

۲-آلودگي با منبـع نامشـخص[۴](آلـودگي غيرنقطـه‌اي).

روانـاب‌هـاي شـهري جـزء منـابع آلاينـده غيـر نقطـه‌اي رودخانه‌ها مي‌باشند. همان‌طور كه در شكل (۱) نشان داده شــده اسـت روانـاب‌هـاي شـهري[۵] ۲۰ درصـد آلـودگي رودخانـه‌هـا را شـامل مـي‌گردنـد و بعـد از روانـاب‌هـاي كشـاورزي بـه عنـوان مهـم‌تـرين منـابع غيـر نقطـه‌اي آلوده‌سازي منابع آب‌هاي پذيرنده(شامل آب‌هاي سطحي و زيرزميني) مطرح مي‌باشند. به منظور مقايسة بار آلـودگي رواناب نواحي شهري، روستايي، تالابي و... اداره حفاظـت محيط زيست آمريكا(U.S. EPA) در سال ۱۹۷۳ با يـك پروژة تحقيقاتي به اين نتيجه رسيد كه مقدار مـواد معلـق جامـد[۶](SS) ، نيتـروژن كـل[۷](TN)، خواسـت اكسـيژن زيست شيميايي(BOD_5) و فلزات سنگين در رواناب‌هـاي شهري بيشتر از نواحي كشتزار و مرغزارها مي‌باشد.

آدامز[۸] و پاپا[۹] (۲۰۰۰) با نمونه‌گيري از رواناب خروجي يك حوضه شهري طي ۵۲ رخداد بارندگي و رسم منحني‌هـاي آب‌نگـار و آلـودگي‌نگـار نشـان داد كـه همـواره منحنـي آلودگي‌نگار سير نزولي و منحني آبنگار ابتدا سير صـعودي و سپس سير نزولي داشته و منحني آلودگي نگار زودتـر از آبنگار به مقدار اوج خود رسيده است؛ به عبارت ديگـر بـار آلودگي بخش ابتدايي رواناب بيشترين مي‌باشد و به تدريج كاهش مي‌يابد در نتيجـه در بـرآورد بـار آلـودگي روانـاب خروجي بهتر است به جاي غلظت لحظه‌اي آلاينـده‌هـا از غلظـت متوسـط هـر آلاينـده (EMC)[۱۰] اسـتفاده گـردد. متوسط غلظت هر آلاينده در هر رخـداد(EMC) عبـارت است از جرم كل آلاينده به كل حجـم روانـاب خروجـي از حوضه. مسلماً EMC در ميانگين زماني خـروج روانـاب از حوضه اتفاق نمـي‌افتـد. تغييـرات غلظـت هـر آلاينـده در رواناب خروجي هر رخداد به ويژگي‌هـاي مكـاني و زمـاني بارندگي بستگي دارد.

[۱]- Grum
[۲]- Hans
[۳]- Point Source Pollution
[۴]- Non-Point Source Pollution
[۵]- Urban Runoff
[۶]- Suspended Solids
[۷]- Total Nitrogen
[۸]-Adams
[۹]-Papa
[۱۰]- Event Mean Concentration



شكل ۱- منابع آلودگي رودخانه‌ها

الي[1] (۱۹۸۱) مدل‌هاي رگرسيوني منطقه‌اي را بر اساس ميانگين غلظت هر آلاينده در هر رخداد بارندگي، ويژگي‌هاي حوضه، كاربري اراضي و ويژگي‌هاي اقليمي به منظور تخمين بار آلودگي رواناب خروجي ارايه داد. او به اين نتيجه رسيد كه ساخت و به‌كارگيري مدل‌هاي رگرسيوني جهت تجزيه و تحليل كيفيت و كميت رواناب‌هاي شهري بسيار مفيد و كارآمد مي‌باشند. از جنبة علمي، مدل عبارت است از نماينده و نمايشگر ارتباط بين برخي از كميت‌ها و كيفيت‌هاي معلوم و به عبارت ديگر مدل تجلي ارتباط بين كميت‌ها و كيفيت‌هاي بخشي از جهان هستي به صورت فيزيكي يا رياضي است؛ از اين قرار، مدل‌ها روابط بين داده‌ها را به منظور پيش‌بيني چگونگي رويدادها در جهان واقعي تشريح مي‌كنند(۹).

آندرل[2](۱۹۹۱) مطالعات گسترده‌اي روي آثار شهرنشيني بر كيفيت رواناب شهري در شهر توئين[3] در ايالات آمريكا انجام داد. او با استفاده از داده‌هاي كيفي و كمي مربوط به رواناب ۶۸ حوضه شامل شش پارامتر كيفي رواناب (خواست اكسيژن شيميايي[4](COD)، كل جامدات معلق[5](TSS)، نيتروژن كل (TN)، كل نيتروژن آلي[6](TKN)، فسفر كل[7](TP)، فسفر محلول[8](DP)) و پارامترهاي مدت بارش، شدت بارش و كل مساحت هر حوضه و با محاسبه ضرايب همبستگي بين هر پارامتر و بار آلودگي رواناب خروجي كه به‌طور پيوسته از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۸ اندازه‌گيري شده بودند به ارايه مدل رگرسيوني جهت برآورد بار آلودگي در هر رخداد بارندگي پرداخت.

در اين تحقيق به منظور رسيدن به مديريت زيست محيطي مناسب در حوزه رودخانه زاينده رود اهداف زير دنبال شده است:

[1]- Alley
[2]- Anderel
[3]- Twin

[4]- Chemical Oxygen Demand
[5]- Total Suspended Solid
[6]- Total Kjeldahl Nitrogen
[7]- Total Phosphor
[8]- Dissolved Phosphor

بررسي كيفيت و تعيين نوع و غلظت آلاينده‌هاي موجود در رواناب يكي از حوزه‌هاي شهر اصفهان در هر بارش طي فصل‌هاي پاييز و زمستان ۱۳۸۱. همچنين ارايه مدل رگرسيون مناسب براي تخمين كل بار آلودگي رواناب خروجي حوزه به طوري كه در هر بارندگي با اندازه‌گيري چند پارامتر مهم و به‌كارگيري آن‌ها در مدل به‌دست آمده بتوان بار آلودگي خروجي حوزه را برآورد نمود.

مواد و روش‌ها

در اين تحقيق به طور موردي رواناب خروجي يكي از حوزه‌هاي شهر اصفهان به نام حوزه شيخ صدوق كه به رودخانة زاينده‌رود تخليه مي‌گردد مورد بررسي قرار گرفت. اين حوزه شهري به شش زير حوزه تقسيم و مساحتي معادل ٦٠٠ هكتار دارد. در شكل (۲) موقعيت حوزه و محل تخليه رواناب به رودخانه زاينده‌رود تصوير شده است.

در اين مطالعه در فصل‌هاي پاييز و زمستان ۱۳۸۱ از ۱۳ رخداد بارندگي به‌صورت لحظه‌اي نمونه‌برداري شد. به طوري كه در مواقع بارندگي در محل خروجي حوزه مستقر شده و در طول بارندگي و از زمان شروع خروج رواناب از حوزه، هر ۱۵ دقيقه نمونه‌گيري صورت گرفت. لازم به ذكر است براي نمونه‌برداري از ظروف دو ليتري پلاستيكي دهانه گشاد استفاده شد. در هر مرتبه نمونه‌برداري عمق رواناب خروجي نيز به‌وسيله خط‌كش بزرگي اندازه‌گيري و از آن در برآورد دبي لحظه‌اي با كاربرد روش مانينگ استفاده شد. چون در اين روش تعداد نمونه‌ها در هر رخداد بارندگي زياد است، بنابراين براي جلوگيري از هر گونه اشتباه بر روي هر ظرف نمونه، تاريخ نمونه‌برداري، شماره نمونه و عمق رواناب با ماژيك ضد آب نوشته شد. پس از اتمام خروج رواناب از حوضه و نمونه‌گيري، نمونه‌هاي جمع‌آوري شده در هر بارش در كوتاه‌ترين زمان به آزمايشگاه اداره كل محيط زيست اصفهان جهت اندازه‌گيري پارامترهاي كيفي شامل: COD, BOD_5, pH, Cu, Zn, Pb, NO_3, TP, TSS, و EC انتقال داده شدند. به منظور تعيين مهم‌ترين فلز سنگين در رواناب سطحي شهر اصفهان در اولين رخداد بارندگي عناصر روي، مس و سرب اندازه‌گيري شدند و با توجه به اينكه غلظت فلز سنگين سرب با اختلاف قابل توجهي نسبت به دو فلز ديگر غلظت بالاتري داشت عنصر سرب به عنوان مهم‌ترين فلز سنگين در رواناب سطحي شهر اصفهان تشخيص و در بقية رخدادها تنها فلز سرب اندازه‌گيري شد. در اين مطالعه با در نظر گرفتن دبي جريان و ارتفاع رواناب حجم لحظه‌اي رواناب و از مجموع حجم لحظه‌اي رواناب و جرم‌هاي لحظه‌اي آلاينده‌ها به ترتيب كل حجم رواناب خروجي و جرم تجمعي براي هر آلاينده در هر رخداد محاسبه و از تقسيم اين دو مقدار طبق رابطة (۱) غلظت متوسط آلاينده‌ها(EMC) در هر رخداد بر آورد گشت.

$$EMC \equiv \overline{C} = \frac{M}{V} = \frac{\int C(t)Q(t).dt}{\int Q(t).dt} \qquad (۱)$$

كه در آن:

C (t)= غلظت در فاصلة زماني t(mg/l)، Q(t)= دبي در زمان t (m-3/s)، M= جرم آلاينده(mg)، V= حجم رواناب(m3)

همچنين داده‌هاي مربوط به ارتفاع بارش و تعداد روزهاي خشك قبل از هر بارندگي از اداره كل هواشناسي استان دريافت شد. به منظور برآورد كل بار آلودگي خروجي در هر رخداد از مجموع جرم تجمعي آلاينده‌ها، جرم كل آلاينده‌ها محاسبه و از تقسيم آن به حجم كل رواناب خروجي، كل بار آلودگي بر حسب كيلوگرم بر متر مكعب به‌دست آمد.

تحليل رگرسيون روشي آماري براي مدل‌سازي رابطه بين متغيرها است. در اين تحقيق از رگرسيون خطي چندگانه گام به گام[۱] استفاده شد. در بسياري از موارد،

[۱]- Multiple Stepwise Linear Regression

مجموعه متغيرهايي كـه مـي‌بايسـت در مـدل رگرسـيون گنجانده شوند از پيش تعيين شده نيسـتند و غالبـا بخـش اوليه تجزيه و تحليل، شامل انتخاب اين متغيرها است. يكي از روش‌هاي مورد استفاده، تحليـل عـاملي[۱] مـي‌باشـد(۳). تحليل عاملي (تجزيه به عامل‌ها) كه براي اولين بار توسط اسپيرمن (۱۹۰٤) ابداع‌گرديد تكنيك آماري چند متغيـره است كه بين مجموعه‌اي فراوان از متغيرهايي كه بـه ظـاهر بي‌ارتباط هستند، رابطه خاصي را با يك مدل فرضي برقرار مي‌كند. يكي از اهداف اصلي تكنيك تجزيه عاملي، كاهش تعداد داده‌هاست و از ايـن طريـق مـي‌تـوان خلاصـه‌اي از داده‌هاي اصـلي را تهيـه نمـود. ايـن روش داراي چنـدين مرحلـه اسـت(۱) اسـتاندارد كـردن داده‌هـا، (۲) تعيـين ماتريس وزني عاملي، (۳) انتخاب تعداد عامل‌ها، (٤) دوران عامل‌ها و(۵)امتيازات عاملي (سريواستاواكارتر، ۱۳۷۰). در اين مطالعه براي انجـام مراحـل بـالا از برنامـه SPSS10.0 استفاده شد. همچنـين داده‌هـاي ۱۱ رخـداد بارنـدگي در تجزيه و تحليل مورد استفاده قرار گرفتند و بـر دو اسـاس مـدل‌هـاي رگرسـيون تعيـين شـدند، يكـي بـر اسـاس پارامترهاي حاصل از نتـايج تحليـل عـاملي و ديگـري بـر اساس ويژگي‌هـاي بـارش. داده‌هـاي دو رخـداد ديگـر بـه منظور بررسي صحت و كفايت مدل‌هـا از طريـق محاسـبه انـواع خطـا اسـتفاده شـدند. بـه منظـور بررسـي صـحت مدل‌هاي ارايه شده مقـادير خطاهـاي بـرآوردي از طريـق روش‌هاي مختلف به صورت زير محاسبه شـد(زهتابيـان و همكاران،۱۳۸۳).

الف- برآورد درصد خطاي نسبي

مقدار درصد خطاي نسبي براي كل بار آلودگي برآوردي از طريق مدل‌هاي پيشـنهادي(مـدل رگرسـيوني بـر اسـاس پارامترهاي آلاينده و مدل رگرسيوني بر اساس ويژگي‌هاي بارش) و مقادير اندازه‌گيري شده براي رخـدادهايي كـه در مدل شركت نكردند طبق رابطه زير به‌دست آمد.

$$\text{درصد خطاي نسبي} = \frac{\left|Load - \hat{Load}\right|}{Load} \times 100 \qquad (۲)$$

كه در آن $Load$، كل بار آلودگي اندازه‌گيـري شـده و $\hat{Load}$ كل بار آلودگي برآوردي از طريق مدل مي‌باشـد. از ميانگين مقادير خطاي نسبي مـي‌تـوان بـه عنـوان يكي از راه‌هاي مقايسه كارايي مدل استفاده كرد.

ب- ميانگين خطاي اريبي[۲](MBE)

ميانگين خطاي اريبي از رابطه زير به‌دست مي‌آيد.

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(Load - \hat{Load}\right) \qquad (۳)$$

از MBE مي‌توان به عنوان معيار اريبي در ارزيابي مدل پيشنهادي استفاده كرد.

ج- جذر ميانگين مربعات خطا[۳] (RMSE)

مقدار جذر ميانگين مربعات خطـا از رابطـه زيـر محاسـبه مي‌گردد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Load - \hat{Load})^2}{N}} \qquad (٤)$$

همچنين مقادير درصد ميـانگين خطـاي اريبـي نسـبي و درصد جذر ميانگين مربعات خطاي نسبي كـه نسـبت بـه ميانگين مقادير واقعي محاسبه مي‌شوند، به منظور ارزيابي مدل‌هاي پيشنهادي در نظر گرفته شد.

نتايج

در اين مطالعه به منظـور مقايسـه صـحيح متغيرهـا بـا همديگر، كليه آنها به نمـرات اسـتاندارد تبـديل شـدند و

[۱]- Factor Analysis

[۲]- Mean Bias Error

[۳]- Root Mean Square Error

نتايج تجزيه و تحليل عاملي بـراي ۹ متغيـر انـدازه‌گيـري شده در حوزه شهري مورد مطالعه شامل ويژگي‌هاي كيفي و كمي رواناب خروجي حوضه در هر بارش مانند خواسـت اكسيژن زيسـت شـيميايي، خواسـت اكسـيژن شـيميايي، فسفر كل، نيترات، سـرب، كـل مـواد جامـد معلـق، دبـي متوسط و ويژگي‌هـاي هـر بـارش از نظـر ارتفـاع و تعـداد روزهاي خشك قبل از هر بارندگي نشان داد كه براساس ٤ عامل مي‌توان مجموعاً ٩٢/٤ درصد از واريانس داده‌هـا را توجيه كرد و بدين‌ترتيب اطلاعات حول ٤ عامل خلاصـه مي‌گردند. جدول (۱) مقادير ويژه و واريانس توجيه شده را نشان مي دهد.

جدول ۱- مقادير ويژه و واريانس توجيه‌شده[۱]

عامل	مقادير ويژه اوليه			مقادير ويژه عوامل اصلي		
	كل	درصد واريانس	درصد تجمعي	كل	درصد واريانس	درصد تجمعي
۱	۳/۵۱۳	٤۳/۹۱۸	٤۳/۹۱۸	۳/۵۱۳	٤۳/۹۱۸	٤۳/۹۱۸
۲	۱/۸۵۵	۲۳/۱۸۵	٦۷/۱۰۳	۱/۸۵۵	۲۳/۱۸۵	٦۷/۱۰۳
۳	۱/٤۵٤	۱۸/۱۷۹	۸۵/۲۸۲	۱/٤۵٤	۱۸/۱۷۹	۸۵/۲۸۲
٤	۰/۵۷۱	۷/۱٤۰	۹۲/٤۲۲	۰/۵۷۱	۷/۱٤۰	۹۲/٤۲۲
۵	۰/٤٤۳	۵/۵۳۷	۹۷/۹۵۹			
٦	۰/۱۵۳	۱/۹۱۳	۹۹/۸۷۱			
۷	۰/۰۰۷۸	۰/۰۹۸	۹۹/۹۷۰			
۸	۰/۰۰۲٤	۰/۰۳۰۲	۱۰۰/۰۰			

[۱]- Extraction Method: Principal Component Analysis

با توجه به جدول (۲) ماتريس دوراني واريماکس TSS با بيشترين بار وزني(۰/۹۷۰) روي عامل اول و توجيه بيشترين درصد از کل واريانس يعني مقدار ۴۳/۹ به عنوان فاکتور اول انتخاب شد. همچنين عامل دوم با توجه به بار وزني ۰/۸۸۰ و درصد از واريانس کل ۲۳/۱ به COD داده شد. به اين ترتيب دو عامل ديگر يعني NO_3 و دبي متوسط جريان به ترتيب با توجيه ۱۸/۱ و ۷/۱ در صد از کل واريانس با بارهاي وزني ۰/۸۸۶ و ۰/۹۵۱ به عنوان عامل‌هاي سوم و چهارم انتخاب شدند.

جدول ۲- ماتريس دوراني واريماکس

متغير	عامل			
	۱	۲	۳	٤
خواست اکسيژن زيست شيميايي	۰/۵۳۷	۰/۵۹۹	۰/۵۳٤	۰/۰۸۷٤
سرب	۰/٤۳۷	۰/٦٦۱	۰/۵۱۰	-۰/۰۰۹٦۷
فسفر کل	۰/۵۲۹	۰/۱٦٦	-۰/۰۸۵٤	۰/۷۸۵
کل جامدات معلق	۰/۹۷۰	۰/۰٦۸۱	۰/۲۱۱	۰/۰٦۱۱
خواست اکسيژن شيميايي	-۰/۰۱۵٦	۰/۸۸۰	۰/۰٤۷٦	۰/۲۸٦
دبي رواناب خروجي	-۰/۲۱٦	۰/۱۹۱	۰/۲٤٤	۰/۹۵۱
تعداد روز خشك	۰/۹۲۳	۰/۱۲۲	-۰/۲۲۰	-۰/۰۳۱۱
نيترات	۰/۰۷٦۱	-۰/۰٤۸۷	۰/۸۸٦	۰/۱٦۰

سپس با کاربرد تکنيك رگرسيون خطي چندگانه به روش گام به گام ترکيب‌هاي مختلفي از داده‌ها براي ورود به مدل بررسي و در نهايت ترکيبي که از نظر ضريب همبستگي و خطاي استاندارد معني‌دار بوده و نتيجه بهتري ارايه کرد انتخاب شد. در جدول (۳) برخي از بهترين ترکيب‌هاي ورودي به مدل آورده شده است.

جدول ۳ - برخي از بهترين ترکيب‌هاي نهايي ورودي مدل در سطح معني‌دار ۵ درصد

متغير وابسته	متغيرهاي مستقل در نظر گرفته شده	متغيرهاي مستقل وارد شده به مدل	ضريب همبستگي	خطاي استاندارد
Load	TSS, COD, NO_3, Q	TSS, COD	۰/۹۷۸	۰/۱۷٤
	logTSS, logCOD, $logNO_3$, logQ	logCOD	۰/۹۰٤	۰/۵۸۳
logLoad	TSS, COD, NO_3, Q	TSS, COD	۰/۹۲٦	۰/۰۹٤
	logTSS, logCOD, $logNO_3$, logQ	logTSS, logCOD	۰/۹۹۸	۰/۰۰۹

در مرحله بعد مدل رگرسيوني مناسب بر اساس ويژگي‌هاي بارش به منظور برآورد کل بار آلودگي خروجي رواناب در هر بارش ارايه گشت. به اين منظور با در نظر گرفتن ويژگي‌هاي دبي متوسط جريان، ارتفاع بارش و

روزهاي خشك قبل از هر بارندگي بـه‌عنـوان متغيرهـاي مستقل و كل بار آلودگي اندازه‌گيري شده در هر بارش بـه عنوان متغير وابسته، تركيب‌هاي مختلفـي از داده‌هـا براي ورود به مدل بررسي شدند و در نهايت تركيبي كه از لحاظ ضريب همبسـتگي و خطـاي اسـتاندارد معنـي‌دار بـوده و نتيجـه بهتري ارايـه كـرده اسـت، انتخـاب شـد. برخـي از بهتـرين تركيـب‌هـاي نهـايي ورودي مـدل بـر اسـاس پارامترهاي بارش در جدول (۴) ارايه شده است.

جدول ۴- برخي از بهترين تركيب‌هاي نهايي ورودي مدل بر اساس پارامترهاي بارش

متغير وابسته	متغيرهاي مستقل در نظر گرفته شده	متغيرهاي مستقل وارد شده به مدل	ضريب همبستگي	خطاي استاندارد
Load	T, H, Q	H	۰/۷۷	۰/۴۰۳
	logT, logH, logQ	logQ	۰/۸۳	۱/۱۲
logLoad	T, H, Q	H	۰/۹۲۶	۰/۰۴۶
	logT, logH, logQ	logH, logQ	۰/۹۱۱	۰/۲۰۶

همان طور كه بيان شد ضريب تعيين و خطـاي اسـتاندارد براي بررسي و كفايت مدل معرفي شده‌اند. اما همان‌طور كه گفته شد مقدار ضريب همبستگي بالا الزاماً به معني خـوب بودن مدل رگرسيون نيست. چرا كه افزودن يك متغير بـه مدل هميشه ضريب همبستگي را صرف‌نظر از مشاركت اين متغير اضافه شده در مدل، افزايش خواهد داد. پس هنگـام گروه‌بندي دامنه تغييرات داده‌هـا در هر گروه همگن كمتر شده و همبستگي افزايش مي‌يابد. براي ارزيـابي روش‌هـاي رگرسيون چند متغيره لازم است تا از داده‌هاي رخدادهايي كه در تحليل رگرسيوني شركت نكرده اند اسـتفاده نمـود. به اين منظور همان‌طور كه قبلا اشاره شـد عـلاوه بـر ۱۱ رخداد بارندگي شركت داده شده در مدل، داده‌هاي كيفـي و كمي دو رخداد ديگر نيز اندازه‌گيري شدند و براي تعيين صـحت مـدل رگرسـيوني مـورد اسـتفاده قـرار گرفتنـد. داده‌هاي كيفي و كمي دو رخداد شركت نكرده در مدل‌هـا در جدول ۵ آورده شده است. دو ستون آخر اين جدول به ترتيب مربوط به مقادير بار آلودگي اندازه‌گيري شده و بـار آلودگي برآورد شده با استفاده از مدل ۱ (مدل ارايه شـده براساس پارامترهـاي آلاينـده) و مـدل ۲(مـدل براسـاس ويژگي‌هاي بارش) مي‌باشد. نتايج به‌دست آمده براي درصد خطاي نسـبي، MBE ، RMSE ، درصـد ميـانگين خطـاي اريبـي نسـبي و درصـد جـذر ميـانگين مربعـات خطـاي نسبي(نسبت به ميانگين مقادير واقعـي) مـدل‌هـاي ارايـه شده در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول ٥- داده‌هاي كيفي و كمي دو رخداد شركت نكرده در مدل‌ها

بار آلودگي برآورد شده (Kg/m3)		بار آلودگي اندازه‌گيري شده (Kg/m3)	H (mm)	Q (m3/s)	EMC(mg/l)						شماره رخداد
مدل ۲	مدل ۱				TSS	COD	BOD_5	TP	Pb	NO_3	
۱/۰۱۲	۱/۲٤۷	۱/۷٤۳	۱۰	۰/۰۱۷	۲۹۹	۷۸۸	٤۱	۱/۲	۰/۲۱	٦۱	۱
۰/۷٦۳	۱/۳۸٥	۱/۱۰۲	۹/٦	۰/۰۲۲	۲۰۲	۱۹٦	٤/٥	۰/۱۹	۰/۱۷	۱۹/۱۸	۲

جدول ٦- نتايج معيارهاي مختلف برآورد خطا براي مدل‌هاي رگرسيون

درصد جذر ميانگين مربعات خطاي نسبي	درصد ميانگين خطاي اريبي نسبي	RMSE	MBE	ميانگين درصد خطاي نسبي	مدل
۲۷/۳۸	٦/٦٦	۰/۳۹	۰/۰۹٤	۲٦/۳۹	بر اساس پارامترهاي آلاينده
٤۰/۰٥	۳۷/٦۱	۰/٥٦۰	۰/٥۳٥	۳٦/۳٤	بر اساس ويژگي‌هاي بارش

بحث و نتيجه‌گيري

براساس جدول (۱) درصد هر يك از عامل‌ها به‌ترتيب عبارتنداز: ۷/۱،۱۸/۱،۲۳/۱،٤۳/۹ مي‌باشد. اين به آن معناست كه حدود ۷/٦ درصد از كل واريانس، بيان نشده است كه مي‌توانست با بررسي متغيرهاي اضافي در زمينه ساير ويژگي‌هاي كيفي و كمي رواناب افزايش يابد. با توجه به نتايج تحليل عاملي‌چهار فاكتور Q, NO_3, COD, TSSبراي ايجاد رابطه با بار آلودگي خروجي انتخاب شدند.

همانطور كه از جدول (۳) مشخص است هنگامي كه داده‌ها به صورت لگاريتمي وارد مدل شده‌اند، خطاي استاندارد كمترين(۰/۰۰۹) مي‌باشد ضمن آنكه ضريب همبستگي(۰/۹۹۸) نيز حداكثر است كه اين مدل به عنوان مدل مناسب پذيرفته و در رابطه (٥) آورده شده است.

$$\log Load = ۰/٥۰۷ \log COD + ۰/٦٦۳ \log TSS \qquad (٥)$$

در مدل‌هاي رگرسيوني ارايه شده توسط تاسكر(۱۹۸۸) و آندرل(۱۹۹۱) پارامترهاي ورودي به مدل COD, TSS بود كه با نتايج اين تحقيق هم‌خواني دارد. به عبارت بهتر شايد در اكثر نواحي شهري اين دو پارامتر آلاينده از مهم‌ترين پارامترهاي آلاينده در رواناب باشند.

به منظور استفاده از مدل رگرسيون بر اساس پارامترهاي آلاينده جهت برآورد كل بار آلودگي رواناب خروجي در هر رخداد بارندگي مي‌بايست غلظت آلاينده‌هاي مواد جامد معلق كل و اكسيژن خواهي زيستي را به‌طور لحظه‌اي اندازه‌گيري كرد كه تقريباً مشكل مي‌باشد. لذا مدل رگرسيوني مناسبي بر اساس ويژگي‌هاي بارش به منظور برآورد كل بار آلودگي خروجي رواناب در هر بارش ارايه گشت.

همان‌طور که در جدول (٤) مشاهده مي‌گردد زماني‌که متغير مستقل ارتفاع بارش وارد مدل شده است ضريب همبستگي بيشترين(٠/٩٢٦) و مقدار خطاي استاندارد کمترين(٠/٠٤٦) مي‌باشد. بنابراين رابطه ٦ به عنوان مدل مناسب بر اساس ويژگي‌هاي بارش انتخاب شد.

$$\text{Log Load} = ٠/٢٩٩ * H \qquad (٦)$$

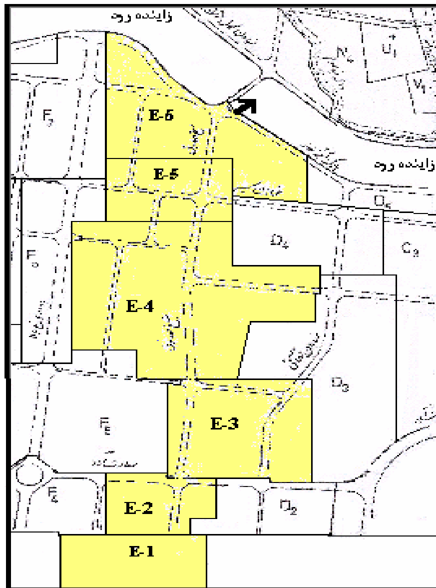
هر چه مقدار RMSE و قدر مطلق MBE کمتر باشند دقت مدل بالاتر است. مقادير مثبت MBE نشان‌دهنده آن است که مقادير پيش‌بيني شده توسط مدل بيشتر از مقادير واقعي و مقادير منفي آن نشان دهنده آن است که مقادير پيش‌بيني شده توسط مدل کمتر از مقادير واقعي مي‌باشند. الي در سال ١٩٨١ براساس مشاهدات خود اظهار داشت که مدل‌هاي رگرسيوني که مقدار خطاي نسبي آنها تا ٢٥ درصد باشد مدل‌هاي بسيار مفيد و دقيق و مدل‌هاي رگرسيوني که مقدار خطاي نسبي آنها بين ٢٥ تا ٤٠ درصد باشد مدل‌هاي نسبتا دقيق و آن‌هايي که بالاتر از ٤٠ درصد هستند جزو مدل‌هاي نامناسب محسوب مي‌شوند. همان‌طور که از جدول (٦) نتيجه مي‌شود در اين تحقيق مدل رگرسيوني براساس پارامترهاي آلاينده تقريبا جزو مدل‌هاي بسيار دقيق و مدل رگرسيوني براساس ويژگي‌هاي بارش جزو مدل‌هاي نسبتا دقيق مي‌باشد. به‌طورکلي درصد انواع خطا براي مدل رگرسيوني براساس پارامترهاي آلاينده همواره کمتر از مدل رگرسيوني براساس ويژگي‌هاي بارش مي‌باشد.

بنابراين مدل انتخابي و برگزيده براي برآورد بار آلودگي خروجي مدل بر اساس پارامترهاي آلاينده است. البته استفاده از اين مدل کمي مشکل است زيرا بايد غلظت دو پارامتر آلاينده(TSS و COD) به‌صورت لحظه‌اي اندازه‌گيري شود. مدل دوم از نظر کارايي بسيار راحت خواهد بود، زيرا اندازه‌گيري ارتفاع بارش کار ساده‌اي است ولي از دقت کمتري برخوردار است.

نتايج اين مطالعه مي‌تواند براي مديران منابع آب، برنامه‌ريزان شهري و مسئولين محيط زيست در کنترل آلودگي رودخانه زاينده رود و حفظ شرايط زيست محيطي آن و همچنين مديريت صحيح رواناب‌هاي شهري مفيد واقع گردد.

در راستاي پيشبرد مطالعات آينده موارد زير توصيه مي‌گردد:

١- ارايه مدل منطقه‌اي با استفاده از داده‌هاي حوضه‌هاي مختلف شهر اصفهان و ترسيم نقشه‌هاي پهنه‌بندي بار آلودگي از طريق روش‌هاي مناسب دورن‌يابي مانند کريجينگ، ٢- ارزيابي مديريت شهري از لحاظ آلودگي رواناب‌ها با استفاده از سيستم‌هاي خبره مانند شبکه‌هاي عصبي مصنوعي و منطق فازي که در برگيرنده پايش و پيش‌بيني آلودگي مي‌باشد، ٣- کاهش آلودگي در سطح شهر بخصوص جايگاه‌هاي تعويض روغن و سوختگيري، ٤- بررسي کيفيت رواناب‌هاي کشاورزي در شرق شهر اصفهان و مقايسه آن با رواناب شهري.



شكل ۲- نمايي از حوزه شهري شيخ صدوق و خروجي آن

منابع

۱- زهتابيان، غلامرضا، كاظم نصرتي و افسانه شهبازي، ۱۳۸۳. ارزيابي روشهاي تحليل منطقه‌اي فراواني جريان كمينه در مناطق خشك و نيمه خشك، مجله بيابان،جلد ۹، شماره ۲.

۲- سريو استاوا، كارتر، ۱۳۷۰. آمار چند متغيره كاربردي، ترجمه ناصررضا ارقامي و ابوالقاسم بزرگ نيا، آستان قدس رضوي.

۳- نصرتي، كاظم، و همكاران، ۱۳۸۳. تعيين مناطق همگن براي جريان كمينه در مناطق خشك و نيمه خشك. مجله منابع طبيعي ايران،جلد ۵۷، شماره ۱.

4- Adams Barry J. and Papa Fabian, 2000. Urban Storm Water Management Planning With Analytical Probabilistic Models. John Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York.

5- Alley William M., 1981. Estimation of Accumulation Parameters for Urban Runoff Quality Modeling,Water Research, 25, 4, pp. 685-690

6- Anderle, T., 1991. Analysis of Stormwater Runoff, Lake Waters Quality for the Twin Cities Metropolitan Area, Ms Thesis.

7- Grum Morten and Hans K., 1997. A Statistical Approach to Urban Runoff Pollution Modeling. Wat. Sci. Tech., Vol. 36, No. 5, pp. 117-124

8- Ichiki, A., et al., 1996. Prediction of Runoff Pollutant Load Considering Characteristics of River Basin. Wat. Sci. Tech., Vol. 33, No. 4-5, pp. 117-126

9- Jeffers, J. N. R., 1982. Modeling, Chapman and Hall, London, 80pp.

10- Spliid, H., et al., 2000. Stormwater Quality Concerns and Modeling. (Available From htpp:// cwp.org)

11- Tasker, G. D., and Driver, N., 1988. National Regression Models for Predicting Urban Runoff Water Quality at Unmonitored Sites. Wat. Resour. Bull., 24, 5, pp. 1091-1101

12- US. Environmental Protection Agency, 1973. Methods for Identifying and Evaluating the Nature and Extent of Nonpoint Sources of Pollutant, EPA. 430/9-73/014, U. S. EPA, Washington, D. C.

Application of Regression Models in Estimation of Urban Runoff Pollution Load

N. Khorasani[1] A. Shahbazi[2] M. Sartaj[3] K. Nosrati[4]

Abstract

A large amount of rain water is transferred to reception mainstreams (e.g. surface and ground water) in urban areas due to the increased impermeable surfaces. Urban catchment's water that is produced by precipitation or snow melting is considered as one of the most important non-point pollutants.

In this investigation, having discretely sampled the output drainage in 13 precipitation events in one of Isfahan catchments during autumn/winter, 2002/2003, 10 qualitative/quantitative parameters were measured to assess the general quality. Modulating the drainage pollution amount (using multivariate statistics) nitrates, total suspended solids, chemical oxygen demand and average discharge factors were considered as the main regression factors. Modulating input data through which a regression model of the least error (0.009) and the highest correlation coefficient (0.998) was designated to assess the amount of output drainage pollution. Input parameters of the model were total suspended solids and chemical oxygen demand. To assess the model accuracy, error indices were estimated using two data groups that was not which included in modulating which indicated the qualification of the model for the next stage. Using this model, total pollution amount of output drainage can be calculated for future events through measuring two input parameters. Also, another regression model was presented based on precipitation characteristics, which can be readily used, but of less accuracy.

These results can be useful for water resource managers, urban programmers and those responsible for environment to control Zayande Rood River pollution, maintain environmental circumstances and carry out reasonable urban catchment management.

Keywords: Urban runoff, Discrete sampled, Multivariate analysis, Pollution load, Regression model.

[1]- Professor, Faculty of al Natural Resources, University of Tehran,(Email: khorasani@.ut.ac.ir)
[2] – Former Graduate student of Environmental Sciences, University of Tehran
[3]- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Isfahan University of Technology
[4]- Academic Member, Department of Range and Watershed Management, Shiraz University