

اثرات گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلابهای شهری*

سیدرضا حسین زاده* - استادیار دانشگاه فردوسی مشهد

مهناز جهادی طرقي - مربی دانشگاه پیام نور فریمان

دریافت مقاله: ۸۴/۳/۲ تایید نهایی: ۸۵/۳/۲۹

چکیده

شهر مشهد به عنوان دومین کلان شهر مذهبی جهان و معرف یکی از کلان شهرهای اقلیم خشک با محدودیت‌های محیطی فراوانی روبروست. علی‌رغم محدودیت محیط طبیعی، گسترش ناگهانی شهر طی دهه‌های اخیر منجر به بروز بحران‌های محیطی در این کلان شهر شده که از جمله بحران‌های نوظهور می‌توان به کم‌آبی، آلودگی هوا، آسیب‌پذیری در برابر زمین لرزه و مشکل سیل و دفع آب‌های سطحی اشاره نمود. تشدید خطر سیل و آب‌گرفتگی معابر که منجر به افزایش هزینه‌های نگهداری شهر و خسارات احتمالی جانی و مالی بیشتر خواهد شد، تا حد زیادی ناشی از اثرات توسعه شهری و تغییرات شدید بار آمده در الگوی زهکشی طبیعی است. در این مقاله که از دیدگاه ژئومورفولوژی تاریخی و تلفیق آن با روش‌های تجربی، موضوع سیلاب و آب‌گرفتگی شهر مشهد مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته مشخص می‌نماید که اثرات غیر مستقیم گسترش شهر در داخل حوضه‌های آبریز منتهی به شهر و اثرات مستقیم آن بر الگوی زهکشی طبیعی در محدوده گسترش یافت فیزیکی باعث تشدید شرایط سیل‌خیزی در این شهر و آسیب‌پذیری بخش‌های وسیعی از بافت آن شده است.

کلید واژه‌ها: ژئومورفولوژی شهری، شهرنشینی، تغییر الگوی زهکشی طبیعی، سیلاب شهری، کلان شهر مشهد

مقدمه

گسترش شهرها در حاشیه رودها، روی مخروط افکنه‌ها، سواحل کم ارتفاع و دلتاها و مناطق پایین دست سدهای ذخیره‌ای منجر به افزایش میزان آسیب‌پذیری جوامع شهری در برابر خطر سیلاب می‌گردد. اثرات شهرنشینی بر هیدرولوژی و مورفولوژی حوضه آبریز قبلاً بوسیله لئو پولد^۱ (۱۹۹۴ و ۱۹۷۳ و ۱۹۶۸) هامر^۲ (۱۹۷۲)، هالیز^۳ (۱۹۷۵)، دونه^۴ و لئوپولد (۱۹۷۸)، کلین^۵ (۱۹۷۹)، آرنولد^۶ (۱۹۸۲)، گاردون^۷ و دیگران (۱۹۹۲)، آرنولد و گیونز^۸ (۱۹۹۶)، پال و می‌یر^۹ (۲۰۰۱) و وایت و گریر^{۱۰} (۲۰۰۵) مطالعه شده است (کریستوفر، ۱۹۹۵؛ ۵۱ و وایت و گریر ۲۰۰۵، ۲-۱). بر اساس مطالعات انجام شده، گسترش شهرها در حوضه آبریز، به دلیل افزایش سطوح نفوذ ناپذیر، منجر به افزایش حجم رواناب و سیلاب، کاهش زمان تمرکز، افزایش دبی حداکثر لحظه‌ای و تغییر کیفیت سیلاب می‌گردد.

از آنجایی که اغلب شهرهای ایران بر روی مخروط‌افکنه‌های آبرفتی گسترش یافته‌اند، حوضه یا حوضه‌های آبریز

* - این مقاله حاصل طرح پژوهشی شماره ۱۶۲۹۶ دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد که هزینه آن از سوی معاونت پژوهشی دانشگاه تأمین شده است.

*Email: srhosszadeh@um.ac.ir

نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۱۱۷۳۲۵

1- Leopold 2- Hammer 3- Hollis - Dunne 5- Kelin 6- Arnold 7- Gordon 8- Gibbons 9- Paul, Meyer 10-White, Greer

کوچک و بزرگی از کوهستانهای حاشیه‌ای به آنها وارد می‌شوند. شهرنشینی با دخالت غیر مستقیم در داخل حوضه‌های مذکور موجب بر هم زدن تعادل دامنه‌ها، از بین بردن پوشش گیاهی، فشردگی خاک و تغییر در نیمرخ آبراهه‌ها، شدت سیلاب‌های ناگهانی را افزایش داده و حجم رسوب تولیدی را بالا می‌برد. در پایکوه نیز که قلمرو گسترش بافت فیزیکی شهر را شامل می‌شود، الگوی زهکشی طبیعی را بر هم زده و خطر سیلاب‌های شهری را بیشتر می‌نماید (حسین‌زاده، ۲۰۰۴، ۱۸۳).

شهر مشهد در نیمه جنوب غربی دشت کشف‌رود به علت گسترش بر سطح دشت تراکمی و مخروط‌افکنه‌های آبرفتی تحت تأثیر شرایط توپوگرافی، شیب و زهکشی ضعیف همیشه در اثنای بارش‌های شدید با سیلاب‌های ناگهانی یا آب‌گرفتگی بافت مواجه بوده است. گسترش شهر به سمت جنوب و غرب و تسخیر اراضی شیب‌دار پایکوه، ضمن آسیب‌پذیری بیشتر شهر در برابر سیلاب‌های دوره‌ای، بر حجم سیلاب حاصل از سطوح مذکور نیز افزوده است. به عبارت دیگر در حال حاضر شهر مشهد در شرایطی قرار گرفته که بخشی از آن مستقیماً در معرض سیلاب‌های شدید دوره‌ای و بخش وسیعی نیز با مشکل آب‌گرفتگی سطح معابر و آلودگی‌های ناشی از آن قرار دارد. چنین به نظر می‌رسد گسترش شهر و تبدیل کاربری، سیلاب‌های آینده شهری را فراوان‌تر و خطرناک‌تر نماید، لذا در این مقاله تلاش بر این بوده تا علاوه بر ترسیم چشم‌انداز فعلی، روند و چگونگی اثرات تخریبی گسترش شهر و مقایسه شرایط قبل و بعد توسعه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. همچنین محدوده‌های تحت تأثیر سیلاب‌های دوره‌ای و سیلاب‌های شهری به عنوان کانال‌ها و مناطق ناپایدار در برابر سیل تعیین و در صورت امکان به برخی راهکارهای اجرایی اشاره می‌شود.

منطقه مورد مطالعه و روش تحقیق

به منظور مطالعه اثرات گسترش کلان شهر مشهد در تشدید سیلاب‌های شهری، منطقه‌ای به وسعت ۵۷۶ کیلومتر مربع شامل محدوده فعلی شهر و نواحی اطراف آن بین $36^{\circ}13'$ تا $36^{\circ}25'$ عرض شمالی و $59^{\circ}28'$ تا $59^{\circ}44'$ طول شرقی انتخاب شده است. این منطقه شامل سه واحد ژئومورفولوژی کوهستان، دشت سر (همراه مخروط‌افکنه‌های آبرفتی) و دشت تراکمی است. گسترش شهر از واحد ژئومورفولوژی دشت تراکمی آغاز و به سمت کوهستان تمام سطح مخروط‌افکنه‌های آبرفتی و پدیمت‌ها را پوشانده است. برای مطالعه نقش شهر در سیل‌خیزی مطالعات به شرح زیر و عمدتاً بر مبنای روش ژئومورفولوژی تاریخی و تلفیق آن با روش‌های تجربی انجام گرفته است:

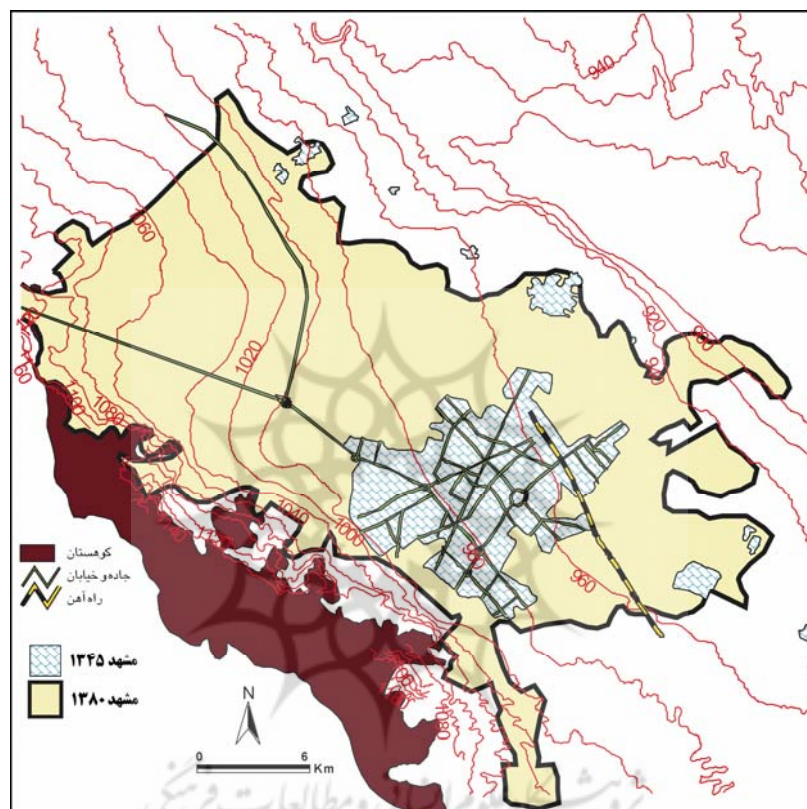
۱- واحد ژئومورفولوژی کوهستان به ۱۹ حوضه آبریز مستقل تقسیم و مطالعات پایه و تأثیر شهرسازی بر آن از طریق نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی انجام و حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب هر حوضه تا دوره برگشت ۱۰۰ سال محاسبه گردیده است. هدف از این محاسبه، تخمین حداکثر حجم سیلاب ورودی به محدوده بافت شهری از حوضه‌های مذکور بوده است.

۲- در قلمرو واحدهای ژئومورفولوژی دشت سر، مخروط‌افکنه‌های آبرفتی و دشت تراکمی، ابتدا با استفاده از عکس‌های هوایی $50/000:1$ و $20/000:1$ سال‌های ۱۳۳۷ و ۱۳۴۵ محدوده مسکونی شهر مشهد تعیین و عوارض مرفولوژی و شبکه هیدروگرافی اولیه بر روی نقشه‌های پایه منتقل گردیده است. سپس از طریق تصاویر ماهواره ای سال ۲۰۰۲ گسترش بافت فیزیکی شهر بر روی عوارض ژئومورفولوژی قبلی نشان داده شده و با استمداد از روش‌های میدانی تحولاتی که بر اثر گسترش شهر در شبکه زهکشی و به خصوص کانال‌های اصلی بوجود آمده تجزیه و تحلیل گردیده است.

۳- با منطقه بندی سطوح نفوذ ناپذیر شهری به ۸ منطقه بر مبنای سطح پوشش هر کانال اصلی زهکشی شهری، حداکثر سیلاب

لحظه‌ای در هر یک محاسبه و با دبی‌های لحظه‌ای حوضه‌های آبریز کوهستان جمع و مازاد دبی احتمالی هر کانال شهری محاسبه شده است.

۴- در پایان ضمن اثبات ضعف شبکه زهکشی شهری، محدوده‌های بحرانی بافت شهری در برابر سیلاب و آب گرفتگی مشخص و بر مبنای شرایط حاکم بر زهکشی منطقه قبل از گسترش شهر پیشنهادات اصلاحی لازم ارائه گردیده است.



شکل ۱ نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

یافته های تحقیق

حوضه‌های آبریز کوهستان و اثرات غیرمستقیم گسترش شهر

جدول ۱ خصوصیات فیزیکی حوضه‌های آبریز منتهی به بافت شهر مشهد را ارائه می‌نماید. این حوضه‌ها که با شماره‌های A1 تا A19 نام‌گذاری شده‌اند، از شیب زیاد برخوردار بوده و زمان تمرکز کوتاهی دارند.

از نظر سنگ شناسی، تقریباً تمام حوضه‌ها در سنگهای دگرگونی و اولترا بازیکی متعلق به پرمین شکل گرفته و از ویژگی آنها رخنمون‌های سنگی گسترده، نفوذپذیری اندک و در گروه بیابان‌های زمین شناسی قرار می‌گیرند. غلبه فرایندهای هوازدگی مکانیکی و شیب زیاد در داخل حوضه‌های آبریز مانع تشکیل خاک و سازندهای سطحی عمیق و به تبع آن فقر پوشش گیاهی گردیده است. به همین علت خاکها به صورت پراکنده و به طور موضعی در سطوح کم شیب‌تر حوضه‌های آبریز و در حاشیه بستر برخی رودخانه‌ها تشکیل شده اند.

جدول ۱ خصوصیات فیزیکی به تفکیک حوضه‌های آبریز منتهی به شهر مشهد

نام حوزه	مساحت (KM ²)	محیط (KM)	ضریب گراویشن	طول مستطیل معادل	عرض مستطیل معادل	حداقل ارتفاع (M)	حداکثر ارتفاع (M)	متوسط ارتفاع (M)	طول آبراهه اصلی (KM)	زمان تمرکز به دقیقه
A1	۱/۲۲	۴/۹۴	۱/۲۵	۱/۷۹۴	۰/۶۷۸	۱۰۶۷	۱۴۷۳	۱۱۹۲	۱/۹۸	۱۵
A2	۰/۹۲	۴/۶۷	۱/۳۶	۱/۸۴۰	۰/۴۹۸	۱۰۸۰	۱۴۷۹	۱۲۱۵	۲/۰۱	۱۴
A3	۲/۲۱	۷/۰۸	۱/۳۳	۲/۷۳۸	۰/۸۰۶	۱۰۹۲	۱۵۰۹	۱۲۶۱	۲/۶۲	۱۹
A4	۱/۴۸	۵/۹۲	۱/۳۶	۲/۳۲۹	۰/۶۳۵	۱۰۹۰	۱۳۶۷	۱۱۹۴	۲/۹۹	۲۴
A5	۰/۴۰	۲/۹۸	۱/۳۲	۱/۱۴۸	۰/۳۴۵	۱۰۳۹	۱۲۴۰	۱۱۱۱	۰/۹۹	۹
A6	۰/۹۱	۴	۱/۱۷	۱/۳۰۵	۰/۶۹۵	۱۰۵۰	۱۲۶۰	۱۱۳۳	۱/۳۶	۱۱
A7	۱/۹۳	۶/۸۱	۱/۳۷	۲/۶۸۷	۰/۷۱۸	۱۱۰۰	۱۴۳۰	۱۲۳۵	۲/۷۵	۲۱
A8	۲/۴۷	۶/۹۹	۱/۲۴	۲/۵۱۳	۰/۹۸۵	۱۱۲۰	۱۴۲۳	۱۲۵۳	۲/۵۸	۲۰
A9	۱/۳۰	۵/۸۴	۱/۴۳	۲/۳۷۶	۰/۵۶۴	۱۱۴۰	۱۴۴۳	۱۲۶۹	۲/۳۹	۱۸
A10	۰/۶۴	۳/۸۲	۱/۳۳	۱/۴۸۱	۰/۴۳۲	۱۱۰۰	۱۲۵۶	۱۱۴۷	۱/۵۹	۱۴
A11	۳/۴۶	۱۳/۳۱	۱/۵۵	۵/۶۳۷	۱/۰۱۹	۱۰۹۰	۱۵۱۰	۱۲۷۷	۵/۳۳	۳۹
A12	۳/۴۶	۸/۳۳	۱/۲۵	۳/۰۲۶	۱/۱۴۳	۱۱۲۰	۱۵۳۴	۱۲۸۹	۳/۳۸	۲۴
A13	۱/۵۹	۶/۱۷	۱/۳۷	۲/۴۳۵	۰/۶۵۳	۱۱۱۹	۱۵۲۱	۱۲۲۰	۲/۶۵	۱۸
A14	۱/۵۹	۶/۹۸	۱/۲۷	۲/۵۸۸	۰/۹۰۲	۱۱۶۰	۱۵۲۶	۱۲۸۰	۲	۱۳
A15	۰/۴۲	۲/۶۹	۱/۱۵	۰/۸۴۴	۰/۵۰۱	۱۱۵۹	۱۳۱۰	۱۱۲۴	۱/۰۱	۹
A16	۳/۲۳	۸/۵۷	۱/۳۳	۳/۳۰۹	۰/۹۷۷	۱۱۷۰	۱۵۰۰	۱۳۱۲	۲/۶۷	۲۰
A17	۰/۸۹	۴/۲	۱/۲۶	۱/۵۵	۰/۵۸	۱۱۶۰	۱۳۵۰	۱۲۲۰	۱/۶۶	۱۳
A18	۰/۴۲	۳	۱/۳	۱/۱۳	۰/۳۷	۱۱۲۰	۱۲۶۵	۱۱۶۰	۱/۰۲	۸
A19	۰/۳۵	۲/۶	۱/۲۳	۰/۹۱	۰/۳۸	۱۱۲۰	۱۲۳۰	۱۱۱۲	۰/۹۲	۸

گسترش شهر مشهد طی ۴ دهه آخر علاوه بر تغییر شرایط میکروکلیماتی (جهادی طرقي، ۱۳۷۸، ۱۵۶) باعث تغییرات شدیدی در مورفولوژی حوضه‌های آبریز شده که این تغییرات بر شدت و حجم رسوب سیلاب‌های ناگهانی افزوده است. این تغییرات را به طور خلاصه می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

الف - برهم زدن تعادل دامنه‌ها و نیمرخ طولی رودخانه‌ها

گسترده‌ترین فعالیت‌های تخریبی رایج در داخل حوضه‌های آبریز شامل استخراج سنگ و شن و ماسه جهت استفاده در ساخت و سازهای شهری و یا اجرای پروژه‌های زیربنایی است. در حال حاضر بیش از ۵۰ معدن فعال و متروکه سنگ لاشه در داخل حوضه‌ها وجود دارد که مجموعاً یکصد هکتار از رخنمون‌های سنگی منطقه را متأثر ساخته و مورفولوژی حوضه‌های آبریز را کاملاً بهم ریخته است. عوارض ایجاد شده در محل معادن شامل حفره‌هایی با دیواره‌های پر شیب به قطر ۵۰ تا ۱۰۰ متر و عمق چندین متر، پرتگاه‌های سنگی، دامنه‌های ناپایدار و واریزه‌های ریز تا درشت باقیمانده از فعالیت‌های معدن کاری است.

بجز معادن یاد شده صدها حفره کوچک به ابعاد چندین متر هم در سنگ‌های سست و هم در سنگ‌های مقاوم در سراسر حوضه‌های آبریز دیده می‌شوند که نتیجه این فعالیت‌ها، افزایش رسوب دهی حوضه‌ها به هنگام رخداد سیلاب‌های شدید است. کنده کاری‌ها، حفاری‌ها و تغییر چشم‌انداز طبیعی بر شرایط اکولوژیکی حوضه‌ها نیز اثر گذاشته و پوشش گیاهی فقیر آن را فقیرتر نموده که خود عامل مثبت دیگری در حدوث سیلاب‌های ناگهانی به شمار می‌رود. حجم زیادی از شن و ماسه مورد نیاز معابر یا بزرگراه‌های شهر مشهد، از بستر آبراهه‌های اصلی استخراج می‌شود که طی سال‌های اخیر روند افزایشی نیز به خود گرفته است. این برداشت‌ها که به دلیل صرفه‌جویی در هزینه‌های حمل و نقل انجام می‌شود، نیم‌رخ طولی آبراهه‌ها را کاملاً بهم زده و بسترهای متغیر با شکست‌های شیب جدی را به وجود آورده است. تنظیم مجدد نیم‌رخ طولی بستر ضمن بالابردن حجم رسوب، امکان تجمع آب در چاله‌ها و شرایط نامناسب زیست محیطی را فراهم می‌آورد.

ب- فشردگی خاک و توسعه شیبهای ناپایدار

ده‌ها کیلومتر جاده خاکی در محدوده حوضه‌های آبریز، چه در حاشیه آبراهه‌های اصلی و یا روی دامنه‌های کم شیب و خط الرأس‌ها احداث گردیده که در هیچ مورد اصول فنی جاده‌سازی در آنها رعایت نگردیده است. به عنوان مثال سعی گردیده مسیر جاده‌ها در مناسب‌ترین تشکیلات خاکی منطقه که استعداد بوته کاری و نهال کاری را دارند، انتخاب گردد و از مصالح فوق برای خاکریز جاده‌ها بهره‌برداری شود. این عملیات که اصولاً برای دسترسی به معادن سنگ صورت گرفته، علاوه بر تخریب بیشتر پوشش گیاهی، بر هم زدن تعادل دامنه‌ها، فشردگی خاک و کاهش میزان نفوذپذیری را به دنبال دارد. استفاده از ضایعات ساختمانی و خاک ریزدانه آوار در تحکیم بدنه جاده‌ها نیز مزید بر علت شده و حمل آن به وسیله هرزآب‌های حاصل از بارندگی، رسوب معلق فراوانی را در دسترس سیلاب‌ها قرار می‌دهد. حمل این مواد و رسوب‌گذاری مجدد آن در نقاط کم شیب زهکش‌های شهری منجر به پایین آوردن کرائی این شبکه‌ها خواهد شد.

ج- افزایش پتانسیل رسوب‌زایی

بررسی‌های مربوط به فرسایش و رسوب حوضه‌های آبریز نشان می‌دهد که در شرایط عادی و بدون دخالت انسان مقادیر کمی رسوب در حوضه‌ها چندان قابل توجه نبوده و حجم نسبتاً پایینی را نشان می‌دهد.^۱ متأسفانه در حال حاضر این شرایط دچار تغییر شده و مهمتر از همه دفع حجم بسیار زیاد ضایعات ساختمانی توان رسوب‌زایی حوضه‌ها را به شدت بالا برده است. حداقل ۱۵ هزار متر مکعب از ضایعات فوق در سطحی حدود ۴۰۰ هکتار علاوه بر خلق مناظر مورفولوژیک انسان ساز، انسداد کامل برخی از آبراهه‌ها را موجب شده است. مطالعه خصوصیات فیزیکی مواد ساختمانی بیانگر آن است که از خاک ریزدانه‌رسی (خاک آوار)، قطعات خرد شده مصالح ساختمانی مانند آجر و بلوک‌های سیمانی، آهک، گچ، اجزاء فلزی و حتی شیشه و لاستیک ترکیب یافته‌اند. به دلیل ناهمگن بودن مواد از نظر بافت، مورفولوژی دانه‌ها، درجه سختی و جنس، نسبت به فرسایش بسیار حساس بوده و استعداد براه انداختن جریان‌های شیت فلود^۲ را دارد. امروزه با وجود مصالح فوق در مسیرهای مسدود، حتی دبی‌های سیلاب با دوره بازگشت حدود ۱۰ تا ۲۰ سال نیز پس از تجمع آب و شکسته شدن سدهای بوجود آمده قادر به ایجاد

۱- محاسبه رسوب ویژه بر اساس روش Epm صورت گرفته است که مقدار آن از حداقل یک تا حداکثر ۴/۵ تن در هکتار در سال بین زیر حوضه‌های مختلف تغییر می‌کند.

چنین جریان‌هایی خواهند بود. نتیجه این که سیلاب‌های آینده علاوه بر قدرت تخریبی بالا، از حجم رسوب افزایش یافته‌ای برخوردار بوده که در انسداد زهکش‌های ضعیف شهری در مناطق پایین دست تأثیر به سزائی خواهد داشت.

د- تخریب پوشش گیاهی و کاهش نفوذپذیری

چرای تعداد بیش از ۴۰۰۰ رأس دام تقریباً پوشش گیاهی منطقه را از بین برده و شرایط مساعدی برای افزایش حجم سیلاب و رسوب و کاهش زمان تمرکز را ایجاد نموده است. هر چند در نگاه اول به نظر می‌رسد فشار دام بر حوضه‌ها به شهرنشینی و توسعه شهری ربطی ندارد، لیکن با نگاهی دقیق‌تر می‌توان چنین اظهار داشت که به طور غیرمستقیم با گسترش شهر در رابطه است. گسترش شهر، اراضی مرتعی و دیم زارهای پایین دست حوضه‌های آبریز را از بین برده و مرز حوضه‌ها را به عقب رانده است. به عبارت دیگر دام‌های موجود منطقه که قبلاً فضای وسیع‌تری برای چرا داشته‌اند به سطحی حدود ۳۵۰۰ هکتار محدود شده و بدین ترتیب مراتع داخل حوضه‌ها تحت تأثیر چرای شدید، آسیب فراوانی را متحمل شده است. در چنین شرایطی مجموع متوسط علوفه تولیدی هر هکتار از مراتع حوضه‌ها بالغ بر ۱۲۵/۳ کیلوگرم علوفه خشک است که فقط ۲۵ درصد از نیاز ۴۸۰۲ واحد دامی آن را تأمین می‌نماید. فشار دام بر مرتع خصوصاً طی خشکسالی‌های اخیر موجب از بین رفتن بسیاری از گونه‌ها شده و مراتع حوضه را در وضعیت کاملاً بحرانی قرار داده است.

دبی و فرکانس سیلابهای شدید

جدول ۲ نتایج محاسبات مربوط به دبی حداکثر سیلاب را در حوضه‌های آبریز منتهی به شهر نشان می‌دهد. براساس نتایج جدول فوق می‌توان چنین نتیجه گرفت که تمام حوضه‌های آبریز منتهی به بافت از پتانسیل سیل‌خیزی شدید برخوردار بوده و اراضی ساخته‌شده شهری را در تهدید دارند. هر چند که این وضعیت با تفاوت‌هایی نیز در گذشته وجود داشته، لیکن به دلیل آزاد بودن اراضی پایکوه و محدود بودن بافت شهر، و وجود زهکش‌های متعدد طبیعی میزان آسیب‌پذیری کمتر و امکان کنترل و یا هدایت سیلاب‌ها نیز آسان‌تر بوده است.

جدول ۲ برآورد حداکثر سیلاب در زیر حوزه‌های محدوده مطالعاتی به روش استدلالی

زیر حوزه	QPEAK 2 M ³ /S	QPEAK 5 M ³ /S	QPEAK 10 M ³ /S	QPEAK 25 M ³ /S	QPEAK 50 M ³ /S	QPEAK 100 M ³ /S
A1	۳/۸۲	۶/۱۰	۷/۶۲	۹/۹۶	۱۱/۲۹	۱۳/۷۴
A2	۲/۸۸	۴/۶۰	۵/۷۴	۷/۵۱	۸/۵۱	۱۰/۳۵
A3	۷/۵۱	۱۱/۱۳	۱۴/۱۰	۱۸/۸۶	۲۱/۲۴	۲۵/۸۴
A4	۳/۶۹	۵/۴۴	۶/۹۲	۹/۴۳	۱۰/۶۳	۱۲/۹۴
A5	۱/۸۳	۲/۷۴	۳/۳۵	۴/۲۷	۴/۸۸	۶/۰۹
A6	۳/۷۳	۵/۹۶	۷/۴۴	۹/۷۳	۱۱/۰۳	۱۳/۴۲
A7	۶/۵۶	۹/۷۲	۱۲/۳۱	۱۶/۴۷	۱۸/۵۵	۲۲/۵۷
A8	۸/۴۲	۱۲/۴۷	۱۵/۸۰	۲۱/۱۳	۲۳/۸۰	۲۸/۹۶
A9	۴/۴۱	۶/۵۴	۸/۲۸	۱۱/۰۸	۱۲/۴۸	۱۵/۱۹
A10	۱/۷۲	۲/۷۶	۳/۴۴	۴/۵۰	۵/۱۰	۶/۲۰
A11	۱۲/۶۲	۱۸/۲۵	۲۳/۴۸	۳۲/۵۶	۳۷/۳۱	۴۵/۴۳
A12	۸/۶۳	۱۲/۷۴	۱۶/۲۰	۲۲/۰۵	۲۴/۸۶	۳۰/۲۷
A13	۴/۵۴	۶/۷۳	۸/۵۲	۱۱/۴۰	۱۲/۸۴	۱۵/۶۳
A14	۷/۳۳	۱۱/۷۳	۱۴/۶۴	۱۹/۱۴	۲۱/۷۰	۲۶/۴۰
A15	۱/۲۸	۱/۹۲	۲/۳۴	۲/۹۸	۳/۴۱	۴/۲۶
A16	۱۱/۰۰	۱۶/۳۰	۲۰/۶۴	۲۷/۶۱	۳۱/۱۰	۳۷/۸۴
A17	۲/۱۷	۳/۸۸	۴/۹۲	۶/۲۳	۷/۳۲	۸/۲
A18	۱/۰۷	۱/۹۶	۲/۴۵	۳/۰۸	۳/۶۲	۴/۰۵
A19	۰/۹	۱/۶۳	۲/۰۴	۲/۵۷	۳/۰۲	۳/۳۹

الگوی گسترش شهر و اثرات مستقیم آن

گسترش شهر مشهد طی ۴ دهه اخیر به ترتیب بر روی نقشه ژئومورفولوژی منطقه برای سالهای ۱۳۴۰ و ۱۳۸۰ نشان داده شده است (شکل های ۲ و ۳). با توجه به شکل ۲ مساحت شهر طی دهه ۱۳۴۰ فقط ۲۹/۱ کیلومتر مربع بوده و عمدتاً بر روی دشت تراکمی استقرار داشته است. مساحت شهر در سال ۱۳۸۰ به ۲۲۸/۱ کیلومتر مربع افزایش یافته و عوارض ژئومورفولوژی متنوع تری را پوشانده است.

با توجه به جدول ۳ تغییرات حاصل از این روند را می توان به شرح زیر مورد بررسی قرار داد:

- فشار بر خروجی حوضه‌های آبریز

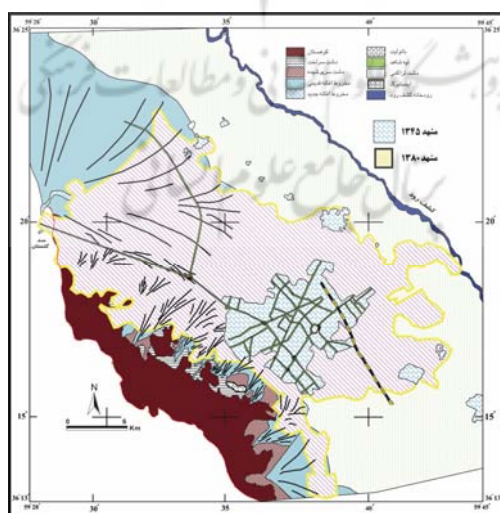
احداث واحدهای مسکونی حاشیه شهر با حداقل مقاومت که بسیار سریع تر از برنامه‌های طرح جامع انجام گرفته، گلوگاه آبراهه‌های اصلی در محل ورود به دشت را به شدت فشرده است. چون در اثنای طغیان‌ها فضای کافی حرکت سیلاب وجود ندارد، بیشترین خسارات سیلاب بر کاربری‌های مسکونی حاشیه بسترهای محدود شده خواهد بود. متأسفانه عدم نظارت کافی بر ساخت وسازهای غیر مجاز حاشیه خروجی اصلی زیرحوضه های شماره A1، A2، A3، A4، A7، A8، A11، A14، A15، A16 مناطق مذکور را به صورت خطرناک‌ترین و ناپایدارترین بافت‌های شهری در برابر سیلاب در آورده است. خط داغ آب

سیلاب سالهای ۱۳۶۵، ۱۳۷۰ و ۱۳۷۳ بر روی دیوارها و بدنه کوچه‌ها و همچنین واحدهای مسکونی تخریب شده بیانگر آن است که راهی جز ترک حریم خشک‌رودها نیست.

- افزایش سطوح نفوذ ناپذیر

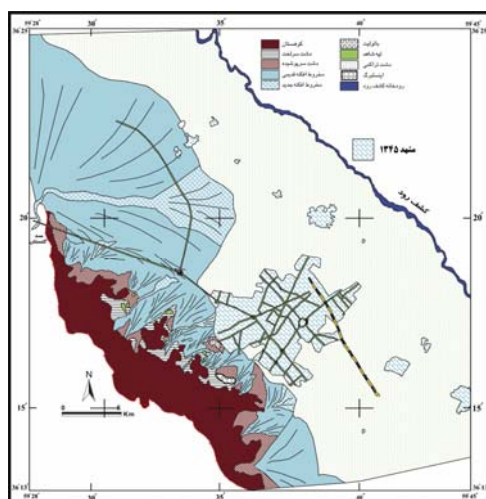
در بررسی‌های میدانی مشخص گردید بجز دشت تراکمی، سایر واحدها و عوارض مرفولوژی خصوصاً دشت‌سرهای پوشیده و مخروط‌افکنه‌های آبرفتی از نفوذپذیری نسبتاً بالائی قبل از گسترش شهر برخوردار بوده‌اند و لذا نه تنها الگوی شعاعی کانال‌های طبیعی به پخش و نفوذ سیلابهای خروجی از کوهستان کمک می‌نموده بلکه خود هرز آب اندکی را تولید می‌نموده‌اند. پس از گسترش شهر، ۱۱۸/۴ کیلومتر مربع از سطوح با نفوذپذیری بالا در مخروط افکنه‌ها و ۸۰/۶ کیلومتر مربع از سطوح با نفوذپذیری کم در دشت تراکمی به اراضی شهری نفوذناپذیر تبدیل شده‌اند. رواناب سطح تمام خیابان‌ها بعلاوه رواناب ۲۵ درصد از پشت بام‌ها وارد سیستم‌های زهکشی شهری می‌شود.

کاهش سطوح نفوذپذیر به میزان حداقل ۵۰٪ باعث گردیده که بخش‌های با شیب بیش از ۲ درصد تا پایکوه، به صورت حوضه‌های آبریز شهری با قابلیت رواناب و سیلاب بالا بوجود آیند. به عنوان نمونه در یکی از اندازه‌گیری‌های میدانی^۱ پس از یک بارش نیم ساعته به میزان ۹ میلی‌متر، از سطحی معادل ۲۲/۲ کیلومتر مربع بیش از ۱۸ مترمکعب آب در کانال‌های اصلی جریان یافت و زمان تمرکز آن حدود نیم ساعت محاسبه گردید. این حجم دبی در حالی بود که خروجی حوضه‌های آبریز منتهی به شهر تقریباً خشک بودند و مشخص شد که سیلاب فوق صرفاً نتیجه توسعه سطوح آسفالت‌نپذیر بوده است. هر چند که شبکه زهکشی فعلی مشهد در شرایط مشابه توان عبور سیلابها را دارد لیکن در صورت وقوع یک باران شدید دوره‌ای و سیلابی شدن حوضه‌های آبریز منتهی به بافت، قطعاً تلفیق آب و رسوب حوضه‌های طبیعی با سیلاب‌های شهری شرایط متفاوتی را به بار خواهد آورد که در بخش بعد به آن اشاره می‌نمائیم.



شکل ۲ نقشه ژئومورفولوژی شهر مشهد (دهه ۱۳۴۰)

۱ - بارندگی مورخ ۱۳۸۳/۲/۷. محل اندازه‌گیری کانال عبوری از پردیس دانشگاه فردوسی مشهد بوده است.



شکل ۳ نقشه ژئومورفولوژی شهر مشهد (آغاز دهه ۱۳۸۰)

جدول ۳ واحدهای ژئومورفولوژی و توسعه شهر مشهد (۸۲-۱۳۴۵)

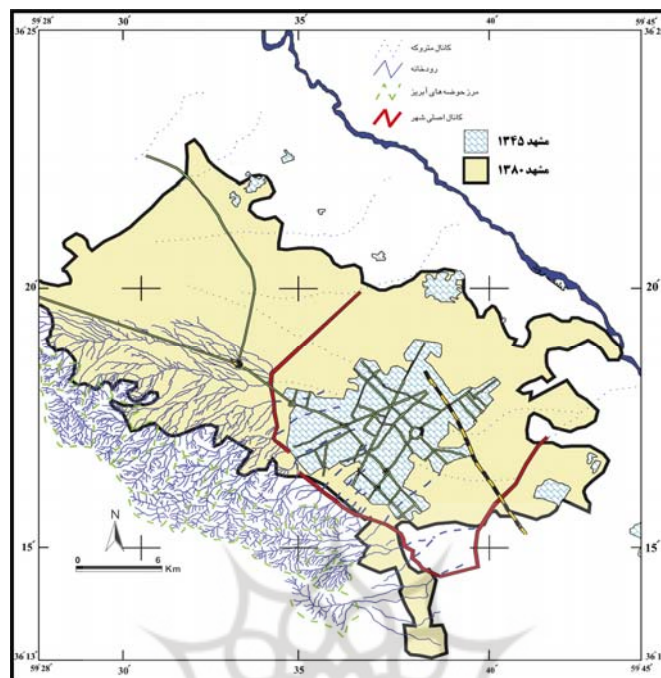
محدوده شهری تا سال ۱۳۸۲	محدوده شهری تا سال ۱۳۴۵ (km ²)	میانگین شیب (%)	درصد	مساحت Km ²	واحد ژئومورفولوژی
۰/۶	-	۲۰	۷/۴	۴۲/۶۳	کوهستان، با تولید کوهسنگی، انسلبرگ‌ها و تپه‌های شاهد
۱۴	۰/۰۵	۲	۲۳/۸	۱۳۷/۱	دشت سرهای لخت و پوشیده
۱۰۴/۴	۰/۹۷۵	۲	۲۳/۶	۱۳۷/۴	مخروط افکنه‌های قدیم و جدید
۱۰۹/۷	۲۸/۰۷۵	کمتر از ۱	۴۳/۶	۲۵۱/۶۸	دشت تراکمی
۲۲۸/۷	۲۹/۱	-	۱۰۰	۵۷۶/۶	جمع کل

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

تغییر الگوی زهکشی طبیعی

علاوه بر مسیرهای اصلی خشک‌رودها که در بافت قدیمی شهر یعنی در واحد ژئومورفولوژی دشت تراکمی محو گردیده، در قلمرو مخروط‌افکنه‌های آبرفتی و دشت سرها، گسترش شهر تعداد ۲۷۷ کانال فرعی به طول حدود ۱۴۰ کیلومتر را از بین برده و تعداد ۴۳ کانال اصلی به طول ۸۲/۹ کیلومتر را مسدود و یا به شدت تغییر داده است (جدول ۴). کانال‌های فرعی شامل شبکه‌های شعاعی و هرز آب‌های گیسوئی روی مخروط‌افکنه‌ها و دشت سرها بوده و کانال‌های اصلی دربرگیرنده کانال‌های خروجی از کوهستان و کانال‌های نسبتاً عریض خود مخروط‌افکنه‌ها و دشت سرها بوده است. کانال‌های اصلی نوع اول از همان ابتدای ورود به بافت شهری دچار محدودیت فضا، تغییر مسیر و حتی انسداد و تلفیق با یکدیگر شده‌اند که در نهایت به ۸ کانال اصلی سیستم زهکشی شهری پیوند می‌خورند. سایر کانال‌های طبیعی اصلی به سرنوشت کانال‌های فرعی اولیه دچار شده‌اند. عناصر زهکشی شهری خیابان‌ها، جوی‌ها و آب گذرهای حاشیه معابر بعلاوه ۸ کانال یاد شده که نهایتاً به ۴ زهکش مهمتر شهری تبدیل می‌شوند را شامل می‌شود. ساختار طراحی شهری و به تبع آن سیستم زهکشی شهری در مناطق گسترش یافته تطابق چندانی با الگوی زهکشی طبیعی ندارد و لذا در مورد زهکش‌های فرعی مصنوعی، مهمترین تأثیر آب گرفتگی‌های محلی در بسیاری از

خیابانهای غربی - شرقی و حتی شمال جنوبی در قاعده و پهلوئی مخروط افکنه است.



شکل ۵ شبکه زهکشی حوزه های شهری منتهی به شهر مشهد

بر اساس سطح پوشش هر کانال اصلی شهری می توان بخشی از شهر به مساحت حدود ۷۵ کیلومتر مربع را که با مشکل جدی هجوم سیلاب های دوره ای یا طغیان مواجه است، به ۸ حوضه جدید طبیعی - شهری به شرح جدول ۴ تقسیم و تغییرات بیار آمده در هر حوضه را مورد بررسی قرار داد. بخشی از بافت به وسعت ۶۰ کیلومتر مربع که بر روی مخروط افکنه بزرگ رودخانه گلستان توسعه یافته به عنوان یک منطقه جداگانه به علت احداث بند گلستان و اصلاح مسیر رودخانه در پایین دست سد با مشکلات کمتری مواجه بوده و لذا در جدول ۴ آورده نشده است.

همانطور که از جدول استنباط می شود، تغییرات به بار آمده در الگوی زهکشی طبیعی عمدتاً از نوع منفی بوده و برنامه خاصی در ابتدا برای کنترل سیلاب و یا هدایت آن وجود نداشته که بدین ترتیب سیستم جایگزین شده با مشکلات جدی مواجه است.

جدول ۴ تغییرات حاصل از شهرنشینی بر الگوی زهکشی طبیعی

مقطع کانال اصلی شهری m^2	تغییرات مثبت یا منفی ایجاد شده در مسیر کانالهای اصلی طبیعی	کانالهای فرعی حذف شده		کانالهای اصلی حذف شده یا محدود شده		مساحت Km^2			شماره حوضه
		تعداد	طول	تعداد	طول	شهری	طبیعی	کل	
متغیر از ۲ تا ۹ متر مربع	تغییر مسیر، انسداد مسیر، ساختمان سازی در بستر، خاکریزی و کاهش عرض، وجود موانع مصنوعی در مسیر	۳۲	۱۷/۶	۵	۱۲	۹/۲	۵	۱۴/۲	Nu1
۵	ساختمان سازی در مسیر، اصلاح مسیر، احداث کانال پوشیده	۶۹	۲۹/۲	۴	۱۱/۱۳	۷/۶۲	۰/۴۲	۸/۰۴	Nu2
۶	اصلاح مسیر، انحراف غیر اصولی، تلفیق کانالها، احداث کانال پوشیده، خاکریزی و کاهش عرض، ساختمان سازی در بستر	۲۱	۱۵/۶	۷	۱۶/۱۱	۴/۸۷	۷/۳۹	۱۲/۲۶	Nu3
۳	انحراف غیر اصولی، ایجاد موانع مصنوعی در مسیر، ساختمان سازی در بستر	۵۰	۳۱/۶	۵	۸	۶/۸	-	۶/۸	Nu4
۶	انحراف غیر اصولی و حذف بستر اصلی، ایجاد کانالها و کاهش عرض	۳۵	۱۳/۵	۶	۱۱	۳/۰۲	۶/۳۸	۹/۴	Nu5
۴	ایجاد موانع مصنوعی در بستر، حذف بستر اصلی و تغییر مسیر غیر اصولی، احداث کانال سرپوشیده، خاکریزی و کاهش عرض، ساختمان سازی در بستر	۴۷	۲۲/۴	۷	۱۰/۶	۶/۵	۵/۷	۱۲/۲	Nu6
۴	تلفیق کانالها با هم، انحراف مسیر غیر اصولی، احداث کانال سرپوشیده	۱۳	۶	۳	۲/۴	۲/۲۱	۱/۳۱	۳/۵۲	Nu7
۶	تغییر مسیر، تلفیق کانالها با هم، احداث کانال سرپوشیده ساختمان سازی در مسیر	۱۰	۴/۸	۶	۱۱/۷	۲/۷۱	۵/۸۳	۸/۵۴	Nu8
-	-	۴۳	۸۲/۹	۲۷۷	۱۴۰/۷	۴۲/۹۳	۳۲/۰۳	۷۴/۹۶	جمع کل

ضعف شبکه زهکشی شهری

ساختار طراحی شهری و به تبع آن سیستم زهکشی شهری تطابق چندانی با الگوی زهکشی طبیعی ندارد، چرا که در طرحهای توسعه، خشکرودها بعنوان یکی از مهمترین چشم اندازها از بافت شهر حذف شده و کانالهای کم ظرفیت جایگزین آن شده اند. در اینجا برای روشن شدن ضعف سیستم زهکشی شهری به محاسبه حداکثر دبی احتمالی در هر یک از حوضه های آبریز طبیعی - شهری می پردازیم. نتایج حاصله در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵ محاسبه حداکثر دبی سیلاب در محدوده شهری و کل حوضه های آبریز تلفیقی

شماره حوضه	مساحت محدوده شهری به هکتار	ضریب رواناب	حداکثر دبی لحظه ای در انتهای کانال اصلی بخش شهری هر حوضه با دوره برگشت های مختلف m^3/s						مجموع دبی های حداکثر لحظه ای هر حوضه m^3/s	
			۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۵۰ ساله	۱۰۰ سال
Nu1	۹۲۰	۰/۵۵	۱۹/۲۶	۳۱/۶	۴۰/۷۶	۵۱/۴۴	۵۹/۴	۶۷/۴۶	۷۳	۸۳
Nu2	۷۶۲	۰/۴۷	۱۶/۶	۲۸/۱	۳۴/۸	۴۴/۸	۵۳/۷	۵۹/۷	۵۷/۱	۱۰۱/۸
Nu3	۴۸۷	۰/۵	۱۲/۸	۲۱	۲۸/۴	۳۵/۸	۴۰/۶	۴۷/۳	۱۰۰	۱۱۹/۶
Nu4	۶۸۰	۰/۴۷	۱۴/۸	۲۵/۱	۳۱/۱	۳۹/۹	۴۷/۹	۵۳/۳	۴۷/۹	۵۳/۳
Nu5	۳۰۲	۰/۴۷	۸/۷	۱۵/۸	۱۹/۷	۲۴/۸	۲۹/۲	۳۲/۷	۷۱/۶	۹۹/۴
Nu6	۶۵۰	۰/۳	۹/۰۴	۱۵/۷	۱۸/۹	۲۴/۴	۲۹/۲	۳۲/۵	۴۵/۱۶	۵۲/۰۱
Nu7	۲۲۱	۰/۴	۵/۴	۹/۸	۱۲/۳	۱۵/۵	۱۸/۲	۲۰/۴	۳۴/۱	۳۹/۹۱
Nu8	۲۷۱	۰/۴۳	۷/۱	۱۲/۹	۱۶/۲	۲۰/۴	۲۳/۹	۲۶/۹	۷۵/۶	۸۹/۷۷

مقایسه سیلاب احتمالی در یک دوره ۵۰ ساله نشان می دهد^۱ که کانال های شهری موجود حتی توان عبور سیلاب های شدید را نداشته و تا سال ۱۳۹۰ که سطوح آسفالته در تمام اراضی باقیمانده گسترش یابد، مشکلات ناشی از سیلاب جدی تر خواهد شد. هر چند که میزان دبی حداکثر محاسبه شده مربوط به نقطه انتهائی هر کانال است، لیکن حجم زیاد سیلاب همراه رسوب حوضه های آبریز و تغییرات فراوان بستر سیلاب، مانع حرکت آزاد آب در کانال ها شده و شرایط طغیانی را پدید می آورد. یکی از مهمترین تغییرات، تغییرات شدید مقطع کانال های اصلی شهری است که بین حداقل ۲ تا حداکثر ۹ متر مربع تغییر می نماید. بر اساس محاسبات انجام گرفته کانال های با شیب ۱ تا ۲ درصد، حدود ۱۲ متر مکعب و کانال های با شیب ۳ درصد و بیشتر حدود ۱۸ تا ۲۴ متر مکعب سیلاب را عبور خواهند داد^۲. با توجه به جدول ۶ که خصوصیات کانال های اصلی شهری را در مناطق ۸ گانه ارائه می دهد، تمام کانال ها در سیلاب های شدید مازاد آب خواهند داشت که باعث آب گرفتگی کاربری های حاشیه کانال می شود. این در حالی است که بر مبنای اندازه گیری های میدانی واز طریق عکس های هوایی عرض هیچ یک از کانال های اصلی طبیعی قبل از گسترش شهر کمتر از ۲۰ متر نبوده و مازاد آب در شرایط حاضر ناشی از تغییر الگوی زهکشی و بسترهای طبیعی است.

۱ - برای محاسبه سیلاب احتمالی ضریب رواناب در سطوح شهری بین ۰/۳ تا ۰/۵۵ در نظر گرفته شده است. (علیزاده، ۱۳۶۸، ۲۹۲)

۲ - در محاسبات کانال ها از فرمول مانینگ تشریح شده در منبع شماره ۳، استفاده شده است.

جدول ۶ خصوصیات کانال‌های زهکشی شهری و ضعف آنها در عبور سیلاب‌های با دوره برگشت ۵ ساله و بیشتر

شماره حوزه	تعداد شاخه کانال		تعداد تغییر مسیر و موانع موجود	مقطع کانال اصلی m^2	طول کانال km			شیب کانال %	مازاد دبی در سیلابهای ۵۰ ساله m^3/s
	اصلی	فرعی			خاکی	بتونی	خاکی سر پوشیده		
Nu1	۱	۱	۸	از ۲ تا ۹ متر	۷/۲۵	-	۱	۱ تا ۲ درصد	۶۱
Nu2	-	۱	۲	۵	-	۱	۱/۸۷۵	۳	۳۳/۱
Nu3	۲	۱	۴	۶	۲	۱	۰/۷۵	۳	۷۶
Nu4	۱	۱	۳	۳	۳/۷	-	-	۲	۳۰
Nu5	۱	۱	۵	۶	۰/۳	۱/۴۲۵	۰/۷	۳	۴۷/۶
Nu6	-	۱	۴	۴	۲/۳	-	۱/۶۲۵	۲	۲۷/۲
Nu7	مشترک با Nu6		تمام آبراهه تغییر مسیر دارند	۴	-	-	۰/۶۲۵	۲	۲۲/۱
Nu8	۱	۱	۵	۶	۱	۰/۴	۲/۱۲۵	۴	۵۱/۶

بحث و نتیجه گیری

از مجموع مطالعات انجام شده می‌توان چنین اظهار داشت که طراحی شهری در کلان شهر مشهد از ضعف‌های اساسی برخوردار بوده و گسترش شهر بدون توجه به شرایط محیط طبیعی و با تراکم زیاد در توزیع کاربری‌ها صورت گرفته است. هر چند که تراکم بافت و بی‌توجهی به لندفرمها بیماری بسیاری از شهرهای ایران به شمار می‌رود لیکن در کلان‌شهرها باید در جهت اصلاح خطاهای گذشته، نسبت به تغییرات اساسی در بافت موجود و همچنین بازنگری طرح‌های توسعه در مناطقی که اکنون به زیر ساخت و ساز نرفته گام‌های مؤثری برداشته شود. در این بررسی که صرفاً به اثرات گسترش شهر مشهد بر تشدید شرایط سیل‌خیزی توجه داشتیم می‌توان نتایج بدست آمده را به شرح زیر بیان نمود:

۱- در دهانه خروجی حوضه‌های آبریز A3, A8, A11, A12, A14, A15, A16 مناطقی به وسعت ۳۱۵ هکتار مستقیماً در معرض خطر سیلاب‌های شدید دوره‌ای (با دوره برگشت ۵۰ سال) قرار دارند. رها ساختن بستر رودخانه و باز کردن مسیر آبراهه‌های اصلی تا اتصال به یک شبکه زهکشی اصلی شهری در مناطق یاد شده از مهمترین اقدامات است. علاوه بر آن در داخل حوضه‌های آبریز باید طرح‌های آبخیزداری و کنترل سیلاب شامل احداث سازه‌های سبک و عملیات بیولوژیکی به اجراء گذاشته شده و ممنوعیت برداشت سنگ و شن و ماسه و همچنین چرای دام به طور جدی پیگیری و اجرا شود.

۲- مناطق مجاور کانال‌های اصلی شهری به مساحت حدود ۸۰ هکتار در حوضه‌های Nu1, Nu2, Nu3, Nu5, Nu6, Nu8 در معرض سیلاب‌های شهری قرار دارد که خسارات آن عمدتاً به واحدهای مسکونی و کاربری‌های عمومی است. در این مناطق با توجه به کاهش عرض اغلب کانال‌ها یا انحراف آن از مسیر اصلی بر اثر خاکریزی و سپس ساختمان‌سازی بروی

- آن، ساختمان‌های مذکور از مقاومت کافی برخوردار نبوده و در صورت بروز برخی مخاطرات طبیعی دیگر از جمله زلزله با خطر واگرایی خاک و تخریب سریع تر روبرو خواهند شد.
- ۳- حدود ۸۰ کیلومتر مربع از مساحت شهر در قلمرو دشت تراکمی که از شیب کافی برخوردار نیست در معرض آب گرفتگی‌های سطحی است که منجر به کند شدن عبور و مرور در اثنای بارندگی‌های هر ساله است.
- ۴- علت اصلی افزایش پتانسیل سیل خیزی شهر، ضعف طراحی شهری و شبکه زهکشی آن است که بدون توجه به شرایط محیط طبیعی و با تراکم زیاد توزیع کاربری‌ها صورت گرفته است.
- ۵- در جهت کاهش خسارات سیل و آب گرفتگی باید یک طرح جامع کاهش خطر در دستور کار قرار گیرد. در این طرح که یک فعالیت میان رشته ای است باید اقدامات زیر مورد توجه قرار گرفته و به مرحله اجرا در آید:
- اجرای طرح‌های آب‌خیزداری و کنترل سیلاب در داخل حوضه‌های آبریز منتهی به شهر و ممانعت از برداشت منابع سنگ و شن و ماسه و دفع زایدات ساختمانی در مناطق مذکور.
 - بازسازی مسیر کانال‌های اصلی طبیعی در داخل بافت شهری و تعیین حریم مشخص برای آنها.
 - انطباق اجزاء فرعی شبکه زهکشی شهری با الگوهای طبیعی اولیه.
 - کاهش تراکم کاربری‌ها در بافت شهری و افزایش سطوح نفوذناپذیر با کاربری فضای سبز و پارک در بافت موجود.
 - تجدید نظر در طراحی سمت توسعه شهر و افزایش سرانه کاربری فضاهای سبز در محدوده‌های جدید.

منابع

- ۱- جهادی طرقي، مهناز (۱۳۷۸)، تعیین روند تغییرات و دما و بارش شهر مشهد طی دوره (۱۹۹۴-۱۹۵۱) فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ۵۴ و ۵۵.
- ۲- دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۱)، حوزه معاونت پژوهشی طرح مطالعه اثرات گسترش شهر مشهد در تغییر الگوی زهکشی طبیعی و افزایش خطر سیلابهای شهری - مجری طرح سیدرضا حسین زاده. *مجموعه مقالات علمی پژوهشی*
- ۳- رفاهی، حسینقلی، (۱۳۷۵)، فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۴- سازمان نیروهای مسلح، (۱۳۶۱)، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه ۱.
- ۵- سازمان نیروهای مسلح، (۱۳۳۷)، عکس‌های هوایی ۶:۶۰۰۰۰ منطقه سال ۱۳۳۷.
- ۶- سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۴۵)، عکس‌های ۲:۲۰۰۰۰ منطقه سال ۱۳۴۵.
- ۷- سازمان سنجش از دور ایران، تصاویر ماهواره‌ای لندست سری TM سال ۲۰۰۲.
- ۸- سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی مشهد مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.
- ۹- سازمان جهاد کشاورزی خراسان (۱۳۸۰)، اداره آبخیزداری، طرح کنترل سیلاب حوضه آبریز شهر مشهد، مجری طرح سیدرضا حسین زاده.
- ۱۰- علیزاده، امین، (۱۳۶۸)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۱۱- مهدوی، محمد، (۱۳۷۱)، هیدرولوژی کاربردی جلد دوم، دانشگاه تهران.

Washington

13- Hosseinzadeh. S.R Environmental Crises in Iranian Metropolitan Cities Sustainable City Book 2004. Witpress England.

14- Jahadi toroghy mahnaz, 2004 Expansion of Metroplises and Changes in the Fluvial Systems in Arid Regions Joint Intrntional Geomorphology conference England.

15- Keith smith, 2001. Environmental Hazards by routledge England.

16- White and Greer 2005. The Effects of Watershed Urbanization on the Stream Hydrology and Riparian Vegetation of Lospenasquitos. Greek, California. Landscape and planning Journal, Article in press.

