

# کاربرد آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری در اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز

عبدالواحد کردی<sup>۱\*</sup>، علی شهبازی<sup>۲</sup>، زهرا اژدری<sup>۳</sup>، ابوالفضل فانی<sup>۴</sup>

## چکیده

اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت جامع حوزه آبخیز و پایداری توسعه می‌باشد. بنابراین اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها و شناسایی خصوصیات مورفومتریک به منظور شناسایی رفتار هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز و طراحی راهبردهای مدیریتی اهمیت زیادی دارند. هدف از این تحقیق اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوزه آبخیز مراوه تپه بر اساس روش ترکیبی آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری می‌باشد. در ابتدا ۱۰ پارامتر مورفومتریک شامل ضریب فشردگی، ضریب گردی، ضریب شکل، ضریب کشیدگی، فراوانی آبراهه، تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، بافت زهکشی، شکل حوزه و طول جریان روی زمینی به علت تاثیر زیاد در فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایش و رسوب حوزه‌های آبخیز انتخاب شدند. مقدار عددی پارامترهای مورفومتریک با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و ArcHydro تهیه شد. ارتباط بین پارامترهای مورفومتریک و تعیین وزن تاثیر هر یک از آنها با استفاده از روش‌های همبستگی تاو کندال و آنالیز مجموع وزنی تحلیل شد. در نهایت شاخص اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز (SWPI) بر اساس روش ترکیب خطی وزنی برای هر یک از زیرحوزه‌ها محاسبه شد. نتایج نشان داد که روش نوین اولویت‌بندی قادر به تعیین اولویت ترتیبی تمام زیرحوزه‌ها نبود، اما توانست تعداد شش زیرحوزه را با توجه به میزان فرسایش و مقدار رواناب تولیدی (سیل-خیزی) برای اجرای اقدامات آبخیزداری به طور دقیق شناسایی کند.

**واژه‌های کلیدی:** اولویت‌بندی، آنالیز مورفومتري، مراوه تپه، همبستگی آماری

---

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری و کارشناس اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز

نویسنده مسئول: Vahed.kordi@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه یزد

۴- دانشجوی دکتری رشته مدیریت بحران، پژوهشگاه شاخص پژوه اصفهان

## مقدمه

داده و اطلاعات، بسیار مفید است (ملتون، ۱۹۵۸، ص ۴۴۴). در این روش خصوصیات فیزیوگرافیکی و مورفولوژیکی حوزه آبخیز بر اساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) تجزیه و تحلیل می‌شود و در نهایت اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها مشخص می‌شود (گروهمن، ۲۰۰۴، ص ۱۰۵۷). همچنین آنالیز همبستگی بین پارامترهای مورفومتری حوزه آبخیز موجب کاهش خطاها می‌شود (ملتون، ۱۹۵۸، ص ۴۴۳). روش آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری نسبت به روش‌های مرسوم اولویت‌بندی (AHP, TOPSIS و FAHP) دارای این مزیت است که نظر کارشناسی در آن دخالت ندارد (رحمتی و همکاران، ۱۵۳، ۱۳۹۴). در روش آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری، اولویت‌بندی بر اساس اطلاعات به دست آمده از لایه‌های رقومی عوامل تاثیرگذار حوزه‌های آبخیز و ایجاد رابطه همبستگی بین پارامترها انجام می‌گیرد (آهر و همکاران، ۲۰۱۴، ص ۸۵۴). با توجه به مشکلات اقتصادی نهادهای اجرایی و کمبود آمار و اطلاعات، ارائه یک روش نوین برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز (از لحاظ تاثیر بر رژیم سیل‌خیزی حوزه) که در طی آن به داده‌های هیدرومتری مربوط به هر زیرحوزه نیاز نباشد، دستاورد علمی مهمی است. در زمینه اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز مطالعات فراوانی انجام گرفته است: آهر و همکاران (۲۰۱۳) از

امروزه حوزه‌های آبخیز به عنوان محور اصلی برنامه‌ریزی جهت توسعه پایدار در بسیاری از مباحث مدیریتی مطرح شده است. زیرحوزه‌های آبخیز از لحاظ پتانسیل فرسایش خاک، تولید رسوب و تشکیل جریان‌های سطحی (رواناب) متفاوت‌اند. به تبع آن، هدر رفت منابع آب و خاک در آن‌ها نیز متفاوت خواهد بود (چاودری و همکاران، ۳۵۶۰، ۲۰۱۳). از طرفی محدودیت بودجه‌های مربوط به مدیریت منابع طبیعی موجب اجرا نشدن پروژه‌های اجرایی در تمام زیرحوزه‌ها می‌شود. بنابراین اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها به منظور بهبود مدیریت حوزه‌های آبخیز ضرورت دارد (محمدی و احمدی، ۱۳۹۰، ص ۷۱). بر این اساس، اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز تاثیر اساسی در مدیریت راهبردی و همه جانبه حوزه‌های آبخیز خواهد داشت (آهر و همکاران، ۲۰۱۳، ص ۱۳ و ۱۴، ۲۰۱۴، ص ۸۵۴؛ اسدی نلیوان و همکاران، ۱۳۹۴، ص ۹۵). یکی از روش‌های اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها، آنالیز مورفومتری حوزه آبخیز در قالب سیستم اطلاعات جغرافیایی است که در نظر گرفتن پارامترهای مورفولوژیکی در فرآیندهای فرسایش خاک و تشکیل رواناب در روش مذکور بسیار حائز اهمیت است (آهر و همکاران، ۲۰۱۴، ص ۸۵۱). به کارگیری روش آنالیز مورفومتری در مناطق مواجه با کمبود

مورفومتری (۱۱ پارامتر) و GIS حوزه آبخیز مراوه تپه در استان گلستان را اولویت‌بندی کردند. نتایج نشان داد که روش مذکور در اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها با توجه به مطالعات میدانی موفق عمل کرده است. رحمتی و همکاران (۱۳۹۴) اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوزه آبخیز گلستان را بر اساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری انجام دادند. آن‌ها روش مذکور را نسبتاً مناسب ارزیابی کردند. خلقی (۲۰۰۲) با مطالعه در حوزه آبخیز رودخانه کن که دارای ۴۹ زیرحوزه می‌باشد، نقش سیل‌خیزی هر کدام از زیرحوزه‌ها را اولویت‌بندی کرد. به منظور اولویت‌بندی از نظر اجرای کنترل سازه‌ای سیلاب این زیرحوزه‌ها، مسئله سیل‌خیزی رودخانه کن، به صورت یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت. لذا هدف از انجام این پژوهش تعیین زیرحوزه‌های دارای شرایط بحرانی از طریق آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری به منظور کنترل سیل و همچنین تسریع و کاهش هزینه‌ها در انجام پروژه‌های آبخیزداری و کنترلی می‌باشد. دلیل انتخاب این حوزه نیز مشکلات زیاد در زمینه فرسایش و سیل‌خیزی آن است.

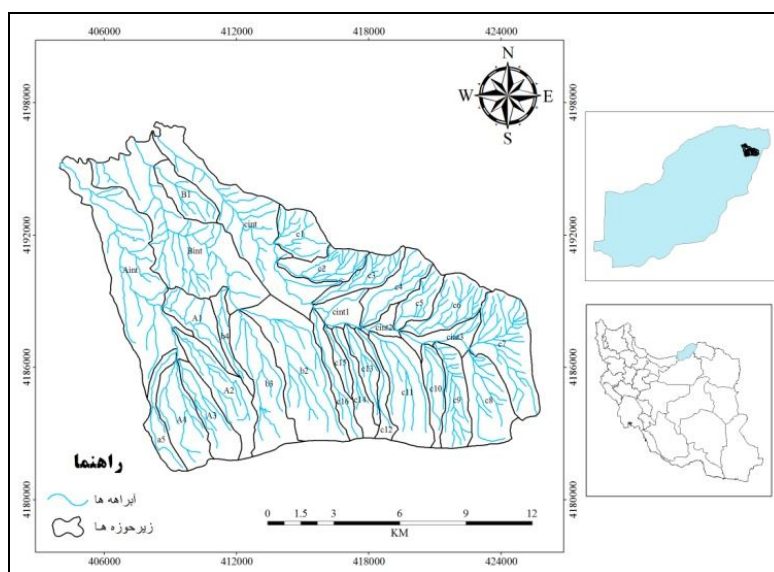
### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی  $55^{\circ}54'31''$  تا  $56^{\circ}09'26''$  طول شرقی و

طریق ۹ پارامتر مورفومتریکی حوزه آبخیز پیم-پالاگون در هند را از طریق فرآیند FAHP اولویت‌بندی کردند. نتایج نشان داد که  $60/85\%$  حوزه در طبقه متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد که نیاز به اقدامات حفاظتی دارند. جین و داس (۲۰۱۰) میزان رسوب خروجی، مناطق فرسایش‌پذیر و رسوب‌گذاری را در حوزه آبخیز هاهارو در هند بررسی کردند و با استفاده از GIS و سنجش از دور حوزه‌های آبخیز را اولویت‌بندی کردند. جاود و همکاران (۲۰۰۹)، زیرحوزه‌های آبخیز کانارا در کشور هندوستان را بر اساس خصوصیات مورفومتری و کاربری اراضی منطقه اولویت‌بندی نمودند. بیوکت و تفری (۲۰۰۹) با مطالعه در حوزه آبخیز چموگا در اتیوپی، خطر فرسایش خاک را بررسی کردند و اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها را برای عملیات کنترل فرسایش انجام دادند. آن‌ها با ترکیب معادله جهانی هدررفت خاک (USLE)، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی این مطالعه را انجام دادند. نتایج نشان داد که روش به کار رفته برآورد ضعیفی از هدررفت خاک نشان داد ولی استفاده از این روش را برای حوزه‌های دیگر مفید دانستند. تاکار و دیمن (۲۰۰۷)، با استفاده از آنالیزهای مورفومتری و فنون سنجش از دور و GIS اولویت‌بندی را در هشت زیرحوزه آبخیز موهر هندوستان انجام داده‌اند. اسدی نلیوان و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از آنالیز

اختلاف ارتفاع بین پایین‌ترین و بالاترین نقطه حوزه ۱۱۴۰ متر می‌باشد. موقعیت حوزه آبخیز مراوه‌تپه به همراه واحدهای هیدرولوژیکی این حوزه در شکل ۱ آورده شده است. این حوزه دارای ۲۵ زیرحوزه و ۶ بین حوزه‌ای است (اسدی نلیوان و همکاران، ۱۳۹۴، ص ۹۳).

"37° 46' 18" تا "37° 55' 12" عرض شمالی واقع شده است. آبراهه‌های اصلی حوزه آبخیز مراوه‌تپه با جهت کلی جنوب به شمال نزولات جوی را جمع‌آوری می‌کنند. مساحت و محیط کل حوزه مورد مطالعه به ترتیب معادل ۱۹۴۴۴/۱۵۶ هکتار و ۴۲۵/۹ کیلومتر است.



شکل ۱- موقعیت و شبکه آبراهه حوزه آبخیز مراوه‌تپه در استان گلستان و ایران

که مساحتی برابر مساحت حوزه داشته باشد (استراهلر، ۱۹۶۴، ص ۸) و از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$C_c = 0.28 \times \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (1)$$

که در آن P محیط حوزه (km)، A مساحت حوزه به (km<sup>2</sup>) و C<sub>c</sub> ضریب فشردگی است. این ضریب برای حوزه‌های گرد نزدیک به یک و برای حوزه‌های کشیده بیش از یک (حدود ۱/۵ تا ۲/۵) می‌باشد.

پارامترهای مورفولوژی تاثیر مهمی در فرآیندهای هیدرولوژیکی و هدررفت منابع آب و خاک حوزه آبخیز دارند (آهر و همکاران، ۲۰۱۳، ص ۱۲ و ۲۰۱۴، ص ۸۵۲؛ گروهمن، ۲۰۰۴، ص ۱۰۵۶؛ جاود و همکاران، ۲۰۰۹، ص ۲۶۵). در این تحقیق ۱۰ پارامتر مورفومتریکی انتخاب شد که در زیر به تشریح آن‌ها پرداخته خواهد شد.

ضریب فشردگی<sup>۱</sup>: این ضریب عبارتست از نسبت محیط حوزه به محیط یک دایره فرضی

<sup>۱</sup>- Compactness coefficient

تراکم زهکشی<sup>۴</sup>: نسبت طول کلیه آبراهه‌ها در یک حوزه آبخیز به مساحت آن را تراکم آبراهه می‌نامند (هورتون، ۱۹۳۲، ص ۳۵۵). بر این اساس تراکم زهکشی آبراهه از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$D_d = \sum L / A \quad (5)$$

که در آن  $D_d$  تراکم زهکشی آبراهه بر حسب  $(\text{km}/\text{km}^2)$ ،  $L$  طول هر یک از آبراهه‌های موجود در حوزه بر حسب  $(\text{km})$ ،  $N$  تعداد کل آبراهه در حوزه،  $A$  مساحت حوزه آبخیز بر حسب  $(\text{km}^2)$  می‌باشد.

نسبت انشعاب<sup>۵</sup>: جهت مشخص کردن تأثیر انشعاب آبراهه بر هیدروگراف سیل در یک حوزه آبخیز از نسبت انشعاب استفاده می‌گردد. این ضریب عبارتست از نسبت تعداد آبراهه در یک درجه مشخص به تعداد درجه بزرگ‌تر بعدی (شیوم، ۱۹۵۶، ص ۶۰۳). برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها از روش استراهلر استفاده شده است. برای تعیین ضریب انشعاب در حوزه از فرمول زیر استفاده شده است که عبارت است از:

$$B_r = (n_1/n_2 + \dots + n_{i-1}/n_i) * 1/i - 1 \quad (6)$$

که در آن  $B_r$  نسبت انشعاب‌پذیری،  $n_1$  تعداد شاخه‌های رتبه ۱،  $n_2$  تعداد شاخه‌های رتبه ۲،  $n_i$  تعداد شاخه‌های رتبه  $i$ ،  $i$  تعداد شاخه‌های رتبه نهایی حوزه می‌باشد.

ضریب گردی<sup>۱</sup>: در این روش ضریب شکل حوزه آبخیز توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود (میلر، ۹۸، ۱۹۵۳):

$$R_c = 12.56 \times \left( \frac{A}{P^2} \right) \quad (2)$$

که در آن  $P$  محیط حوزه  $(\text{km})$ ،  $A$  مساحت حوزه  $(\text{km}^2)$  و  $R_c$  نسبت گردی میلر است. هر چقدر  $R_c$  به عدد یک نزدیک باشد شکل آبخیز مورد مطالعه به دایره نزدیک‌تر خواهد بود.

ضریب شکل<sup>۲</sup>: در این روش ضریب شکل به شرح زیر محاسبه می‌شود (هورتون، ۱۹۳۲، ص ۳۵۴):

$$R_c = \frac{A}{L^2} \quad (3)$$

که در آن  $R_c$  ضریب شکل حوزه،  $L$  طول حوزه  $(\text{km})$ ،  $A$  مساحت حوزه آبخیز  $(\text{km}^2)$  می‌باشد. اگر عامل فرم از واحد تجاوز کند در این صورت میزان احتمال سیلابی و طغیانی بودن زیادتر است. بر عکس هر چه از واحد کمتر باشد طغیان و سیلاب کمتر خواهد بود.

ضریب کشیدگی<sup>۳</sup>: روش محاسبه آن به شرح فرمول (۴) است (شیوم، ۱۹۵۶، ص ۶۰۱):

$$R_e = \frac{\sqrt{A}}{L} \quad (4)$$

که در آن  $A$  مساحت حوزه آبخیز  $(\text{km}^2)$  و  $L$  طول حوزه بر حسب  $(\text{km})$  است.

<sup>4</sup>- Drainage Density

<sup>5</sup>- Bifurcation Ratio

<sup>1</sup>- Circularity coefficient

<sup>2</sup>- Form factor

<sup>3</sup>- Elongation coefficient

اساس تفاوت اهمیت پارامترهای مورفولوژیکی و آنالیز همبستگی آماری بین آنها انجام گرفت. مقدار پارامترهای مورفومتریک برای هر یک از زیرحوزه‌ها محاسبه شد، سپس همبستگی آماری پارامترها بر اساس روش تاو کندال<sup>۵</sup> (شیه، ۱۹۹۸، ص ۲۰) و با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. بر اساس ماتریس همبستگی به دست آمده می‌توان ارتباط بین پارامترها را تجزیه و تحلیل کرد و برای هر یک از پارامترها، وزن نسبی و بدون دخالت تصمیم‌گیرندگان تعریف کرد. بر اساس ضرایب ماتریس همبستگی، وزن هر یک از پارامترهای مورفومتری با روش آنالیز مجموع وزنی (WSA<sup>۶</sup>) تعیین شد. بر اساس رابطه ۱۱ وزن تاثیر (W<sub>i</sub>) یک پارامتر عبارتست از نسبت مجموع ضرایب همبستگی آن پارامتر و مجموع کل ضرایب ماتریس همبستگی (آهر و همکاران، ۲۰۱۴، ص ۸۵۵). بنابراین وزن تاثیر برای تمام پارامترهای مورفومتری محاسبه شد.

$$W_i = \frac{\sum C_i}{\sum T} \quad (11)$$

که در آن  $\sum C_i$  و  $\sum T$  به ترتیب مجموع ضرایب همبستگی پارامتر  $i$ ام و مجموع کل ضرایب ماتریس همبستگی است. به منظور تعیین شاخص اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها (SWPI<sup>۷</sup>) از روش ترکیبی خطی وزنی (WLC<sup>۸</sup>) استفاده شد. وزن‌های به دست آمده برای پارامترهای

طول جریان روی زمینی<sup>۱</sup>: نصف تراکم زهکشی به عنوان طول جریان روی زمین بیان می‌شود (هورتون، ۱۹۴۵، ص ۳۰۷).

$$L_o = \frac{1}{2D_d} \quad (7)$$

که در آن:  $D_d$  تراکم زهکشی حوزه است. فراوانی آبراهه<sup>۲</sup> (تعداد/کیلومتر مربع): از نسبت تعداد آبراهه‌ها به مساحت حوزه بیان می‌شود (هورتون، ۱۹۳۲، ص ۳۵۲).

$$F_s = \frac{\sum N_w}{A} \quad (8)$$

که در آن:  $N_w$  تعداد آبراهه‌های زیرحوزه و  $A$  مساحت حوزه به (km<sup>2</sup>) است. بافت زهکشی<sup>۳</sup>: از نسبت تعداد آبراهه به محیط حوزه به دست می‌آید (هورتون، ۱۹۴۵، ص ۳۵۱).

$$R_{tc} = \frac{N_B}{P_b} \quad (9)$$

که در آن:  $N_B$  تعداد آبراهه و  $P_b$  محیط حوزه به (km) است.

شکل حوزه: رابطه‌ای که توسط بیرکوسکی<sup>۴</sup> (بیرکوسکی، ۲۰۰۷) بیان شده است.

$$L_1 = (L \times L_{ca})^{0.3} \quad (10)$$

که در آن  $L$  طول حوزه و  $L_{ca}$  مرکزوار حوزه می‌باشد.

پارامترهای مورفولوژیکی حوزه آبخیز در فرآیندهای فرسایش خاک و تشکیل رواناب تاثیر متفاوتی دارند (تاکار و دیمن، ۲۰۰۷، ص ۳۱۵). بدین منظور در این تحقیق اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها در قالب روشی نوین و بر

<sup>5</sup>- Kendall's Tau

<sup>6</sup>- Weighted Sum Analysis

<sup>7</sup>- Sub-Watershed Prioritization Index

<sup>8</sup>- Weighted Linear Composite

<sup>1</sup>- Length of overland flow

<sup>2</sup>- Stream Frequency

<sup>3</sup>- Drainage texture

<sup>4</sup>- Birkowski

زمینی، فراوانی آبراهه، بافت زهکشی و شکل حوزه می‌باشند. هر چه مقدار این شاخص در یک زیرحوزه بیشتر باشد، آن زیرحوزه اولویت بیشتری برای اجرای طرح‌های مدیریتی خواهد داشت (ملتون، ۱۹۵۸، ص ۴۵۱).

### یافته های تحقیق

مقدار پارامترهای مورفومتری هر یک از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز مرواه تپه در محیط ArcGIS محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

مورفومتری به عنوان متغیرهای ورودی شاخص اولویت‌بندی استفاده شده و در نهایت شاخص SWPI برای هر یک از زیرحوزه‌ها بر اساس رابطه ۱۲ محاسبه شد.

$$SWPI = W_1C_c + W_2R_c + W_3R_c + W_4R_t + W_5D_d + W_6B_R + W_7L_o + W_8F_s + W_9R_{tc} + W_{10}L_1 \quad (12)$$

که در آن ضرایب  $W_1$  تا  $W_{10}$  وزن تاثیر حاصل برای هر یک از پارامترهای مورفومتری و دیگر پارامترهای فرمول، پارامترهای مورفومتری به ترتیب ضریب فشردگی، ضریب گردی، ضریب شکل، ضریب کشیدگی، تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، طول جریان روی

جدول ۱: مقادیر پارامترهای مورفومتری یک حوزه آبخیز مرواه تپه

واحد	ضریب فشردگی	ضریب گردی	ضریب شکل	ضریب کشیدگی	فراوانی آبراهه	تراکم زهکشی	نسبت انشعاب	بافت زهکشی	شکل حوزه	طول جریان روی زمینی
A <sub>1</sub>	۱/۵۴	۰/۴۲	۰/۱۷	۰/۴۹	۱/۵	۲/۳۳	۶	۰/۵۷	۱/۹	۱/۱۶
A <sub>2</sub>	۱/۶۴	۰/۳۴	۰/۱۴	۰/۴۲	۱/۵۷	۲/۴۲	۳/۱۳	۰/۷	۲/۲۱	۱/۲۱
A <sub>3</sub>	۱/۴۷	۰/۴۳	۰/۲	۰/۴۸	۱/۱۹	۲/۳۱	۲/۵۱	۰/۵	۱/۹۳	۱/۱۵
A <sub>4</sub>	۱/۳	۰/۵۷	۰/۳۲	۰/۶	۱/۴۷	۲/۱۶	۲/۷۳	۰/۸۲	۲/۱	۱/۰۸۴
A <sub>5</sub>	۲/۰۵	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۳۷	۰/۸۶	۲/۳۵	۲	۰/۲۳	۱/۸۶	۱/۱۹۴
A <sub>int</sub>	۲/۰۳	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۴۲	۰/۶	۱/۵۶	۰/۹	۰/۳۸	۳/۱۳	۰/۷۷
B <sub>1</sub>	۱/۳۲	۰/۵۷	۰/۳۲	۰/۵۸	۲/۰۴	۲/۴۱	۳/۵	۰/۸۶	۱/۷	۱/۲۲
B <sub>2</sub>	۱/۴۴	۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۵۷	۰/۹۱	۱/۹۶	۳/۵	۰/۶۹	۲/۵۶	۰/۹۸
B <sub>3</sub>	۱/۵۳	۰/۴۱	۰/۱۷	۰/۵۴	۱/۰۲	۱/۷۸	۴/۵	۰/۵۶	۲/۳۲	۰/۸۹۵
B <sub>4</sub>	۲/۱۵	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۳۳	۱/۷۲	۲/۶۳	۳	۰/۳۴	۱/۶۸	۱/۳۵
B <sub>int</sub>	۱/۸۷	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۵۴	۱/۵۷	۲/۰۵	۴/۱	۱/۱۳	۳/۱	۱/۰۱۵
C <sub>1</sub>	۱/۱۶	۰/۷۳	۰/۶۱	۰/۷۵	۳/۱۳	۳	۳/۷۳	۱/۶۴	۱/۶۶	۱/۵
C <sub>2</sub>	۱/۴۳	۰/۴۵	۰/۲۳	۰/۴۴	۵/۳۷	۳/۷۴	۲/۶	۲/۱۲	۱/۵۶	۱/۹۷
C <sub>3</sub>	۱/۶۵	۰/۳۷	۰/۱۵	۰/۴۳	۴/۴۲	۳/۸۵	۴	۱/۳۵	۱/۷۰	۱/۹۶۳
C <sub>4</sub>	۱/۴۴	۰/۴۶	۰/۲۴	۰/۵۸	۱/۴۶	۲/۴۷	۳	۰/۶۱	۱/۷۱	۱/۱۳۵
C <sub>5</sub>	۱/۳۸	۰/۵	۰/۲۶	۰/۳۴	۲/۶۱	۲/۷۷	۳/۵	۰/۹۲	۱/۸۱	۱/۴۲۴
C <sub>6</sub>	۱/۳۹	۰/۵۱	۰/۲۵	۰/۵۷	۳/۱۹	۳/۵۷	۴/۵	۱/۴۴	۱/۸۹	۱/۷۸
C <sub>7</sub>	۱/۳	۰/۵۷	۰/۳	۰/۶۱	۳/۳	۳/۰۹	۳/۶	۲/۲۶	۲/۲۸	۱/۵۴۱
C <sub>8</sub>	۱/۱۸	۱/۲۸	۰/۳۵	۰/۶۶	۱/۸۶	۲/۱۲	۳/۷۵	۱/۱۵	۱/۹۷	۱/۱۱

۱/۷۴۳	۱/۹۲	۱/۵۷	۴/۵	۳/۴۹	۳/۷۱	۰/۵۱	۰/۲۳	۰/۴۵	۱/۳۸	C <sub>9</sub>
۱/۳۴۲	۱/۷۶	۰/۴۵	۴	۲/۶۹	۱/۴۲	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۳۶	۱/۵۶	C <sub>10</sub>
۱/۰۲۱	۲/۲۱	۰/۴۲	۵/۱	۲/۰۵	۰/۷	۰/۵۶	۰/۲۶	۰/۵۲	۱/۳۷	C <sub>11</sub>
۱/۱	۱/۶۸	۰/۰۸	۰/۵	۲/۲	۰/۴۳	۰/۳۱	۰/۰۷	۰/۱۹	۲/۲۸	C <sub>12</sub>
۱/۴۹	۱/۷	۰/۴۷	۴	۲/۹۷	۱/۸۳	۰/۳۶	۰/۱۲	۰/۳	۱/۸۴	C <sub>13</sub>
۰/۹۱	۱/۷۷	۰/۲۵	۲	۱/۷۲	۱/۰۳	۰/۳۶	۰/۱۱	۰/۲۶	۱/۹۵	C <sub>14</sub>
۱/۳۱	۱/۳۸	۰/۱۳	۰/۲	۲/۳۲	۰/۷۳	۰/۳۹	۰/۱۲	۰/۳	۱/۸۲	C <sub>15</sub>
۱/۱۱	۱/۸۳	۰/۲۴	۲	۲/۳۲	۰/۸۶	۰/۳۱	۰/۰۹	۰/۲۳	۲/۰۷	C <sub>16</sub>
۰/۹۸	۲/۹۹	۰/۶۸	۲/۳۶	۱/۹۶	۱/۲۸	۰/۴۱	۰/۰۸	۰/۲۵	۲/۱۵	C <sub>int</sub>
۱/۰۰۳	۱/۳۹	۰/۱۲	۰/۱۱	۲/۰۱	۰/۳۶	۰/۷۷	۰/۲۸	۰/۵۴	۱/۳۴	C <sub>int1</sub>
۰/۷۹۵	۱/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۲	۱/۵۹	۰/۸۲	۰/۶۲	۰/۱۶	۰/۳۷	۱/۶۵	C <sub>int2</sub>
۱/۲۳	۱/۶	۰/۴۲	۱	۲/۴۷	۱/۷۵	۰/۵	۰/۱	۰/۲۶	۱/۹۲	C <sub>int3</sub>

به منظور استفاده از رابطه بین پارامترهای مورفومتریکی از روش همبستگی تاو کندال استفاده شد. نتایج این همبستگی آماری بین پارامترهای مورفومتری در جدول ۲ آورده شده است. وزن تاثیر هر یک از پارامترها نیز بر اساس روش آنالیز مجموع وزنی (رابطه ۱۱) به دست آمد که در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: ماتریس همبستگی خصوصیات مورفومتری و وزن تاثیر برای هر یک از پارامترهای مورفومتری

ضریب فشردگی	ضریب گردی	ضریب شکل	ضریب کشیدگی	فراوانی آبراهه	تراکم زهکشی	نسبت انشعاب	بافت زهکشی	شکل حوزه	طول جریان روی زمینی
۱	۰/۲۷	-۰/۱۱	۰/۱۳۲	۰/۰۶۶	۰/۰۱۸	-۰/۶۵	-۰/۴۲	۰/۲۹	۰/۰۱
۰/۲۷	۱	۰/۲۱	-۰/۱۲	-۰/۷۲	۰/۲۱	۰/۴۱	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۲۶
-۰/۱۱	۰/۲۱	۱	۰/۱۳	۰/۴۱	-۰/۴۳	۰/۱۱	۰/۲۴	-۰/۷۲	-۰/۴۳
۰/۱۳۲	-۰/۱۲	۰/۱۳	۱	۰/۴۳	۰/۳۶	-۰/۲۳	-۰/۳۲	۰/۲۱	۰/۳۱
۰/۰۶۶	-۰/۷۲	۰/۴۱	۰/۴۳	۱	-۰/۷۵	۰/۱۳	-۰/۳۴	-۰/۵۲	۰/۰۹
۰/۰۱۸	۰/۲۱	-۰/۴۳	۰/۳۶	-۰/۷۵	۱	۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۱۳	-۰/۱۵
-۰/۶۵	۰/۴۱	۰/۱۱	-۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۱۴	۱	۰/۱۵	-۰/۱۷	۰/۳۸
-۰/۴۲	۰/۳۳	۰/۲۴	-۰/۳۲	-۰/۳۴	۰/۲۱	۰/۱۵	۱	۰/۲۷	۰/۲۲
۰/۲۹	۰/۲۱	-۰/۷۲	۰/۲۱	-۰/۵۲	۰/۱۳	-۰/۱۷	-۰/۱۷	۱	۰/۱۷
۰/۰۱	۰/۲۶	-۰/۴۳	۰/۳۱	۰/۰۹	-۰/۱۵	۰/۳۸	۰/۲۲	۰/۱۷	۱
۰/۶۰۶	۲/۰۶	۰/۴۱	۱/۹۰۲	-۰/۲۰۴	۰/۷۳۸	۱/۲۷	۱/۳۴	۰/۸۷	۱/۸۶
مجموع کل									۱۰/۸۵۲
۰/۰۵۶	۰/۱۹	۰/۰۳۸	۰/۱۷۵	-۰/۰۱۹	۰/۰۶۸	۰/۱۱۷	۰/۱۲۳	۰/۰۸	۰/۱۷۱



شاخص اولویت بندی زیرحوزه‌ها (SWPI) بر اساس روش ترکیب خطی وزنی مطابق رابطه ۱۳ برای تمام زیرحوزه‌ها تعیین شد و بر اساس آن اولویت بندی نهایی زیرحوزه‌های آبخیز مراوه تپه انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

$$SWPI = 0/056C_c + 0/19R_c + 0/038R_{tc} + 0/175R_t - 0/019F_c + 0/068D_d + 0/117B_R + 0/123R_{tc} + 0/08L_I + 0/171L_o$$

جدول ۳: مقدار شاخص SWPI و اولویت بندی نهایی زیرحوزه‌ها

اولویت	SWPI	زیرحوزه	اولویت	SWPI	زیرحوزه	اولویت	SWPI	زیرحوزه
۱۴	۱/۲۹	C <sub>10</sub>	۸	۱/۴	B <sub>int</sub>	۶	۱/۵۱	A <sub>1</sub>
۹	۱/۴	C <sub>11</sub>	۵	۱/۵۳	C <sub>1</sub>	۱۷	۱/۲۳	A <sub>2</sub>
۲۹	۰/۷۶	C <sub>12</sub>	۷	۱/۴۸	C <sub>2</sub>	۲۲	۱/۱	A <sub>3</sub>
۱۱	۱/۳۱	C <sub>13</sub>	۴	۱/۵۵	C <sub>3</sub>	۱۹	۱/۱۹	A <sub>4</sub>
۲۵	۰/۸۹	C <sub>14</sub>	۱۸	۱/۲۱	C <sub>4</sub>	۲۳	۰/۹۹	A <sub>5</sub>
۳۰	۰/۷۴	C <sub>15</sub>	۱۲	۱/۳۱	C <sub>5</sub>	۲۷	۰/۸۷	A <sub>int</sub>
۲۴	۰/۹۶	C <sub>16</sub>	۱	۱/۶۳	C <sub>6</sub>	۱۵	۱/۲۸	B <sub>1</sub>
۲۱	۱/۱۱	C <sub>int</sub>	۳	۱/۵۹	C <sub>7</sub>	۱۶	۱/۲۶	B <sub>2</sub>
۲۸	۰/۷۶	C <sub>int1</sub>	۱۰	۱/۳۷	C <sub>8</sub>	۱۳	۱/۳۱	B <sub>3</sub>
۳۱	۰/۶۳	C <sub>int2</sub>	۲	۱/۶۱	C <sub>9</sub>	۲۰	۱/۱۲	B <sub>4</sub>
۲۶	۰/۸۹	C <sub>int3</sub>						

آنالیز مورفومتریکی در حوزه‌های آبخیز کم شیب عنوان کرد. همچنین در نظر نگرفتن عوامل انسانی و اجتماعی زیرحوزه‌های آبخیز که تاثیر زیادی در فرآیندهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز دارند، دلیل عدم دقت برآورد نکردن کلیه زیرحوزه‌ها بوده است.

### بحث و نتیجه گیری

انجام عملیات آبخیزداری با اهداف گوناگون در یک حوزه آبخیز به دلیل شرایط طبیعی حاکم بر حوزه، مسائل اقتصادی،

به منظور تعیین دقت روش ترکیبی آنالیز مورفومتریکی و همبستگی آماری در اولویت بندی زیرحوزه‌های آبخیز (اعتبارسنجی)، از اطلاعات میزان فرسایش و مقدار رواناب تولیدی حوزه آبخیز مراوه تپه استفاده شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که روش نوین آنالیز مورفومتریکی و همبستگی آماری در اولویت بندی تمام زیرحوزه‌ها موفق نیست، ولی این روش در شناسایی شش زیرحوزه با توجه به میزان فرسایش و مقدار رواناب موفق بوده است. دلیل این امر را می توان کارایی کمتر

بررسی وضعیت و پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز پرداخت. بنابراین در این پژوهش به منظور اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز مراوه تپه روش نوین آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری به کار گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد که زیرحوزه‌های  $C_6$ ،  $C_9$  و  $C_7$  برای اجرای اقدامات مدیریتی در بیشترین اولویت قرار دارند. به منظور اطمینان از نتایج این تحقیق، اطلاعات میزان فرسایش و رواناب تولیدی حوزه آبخیز مراوه تپه استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد که روش مذکور تعداد شش زیرحوزه ( $A_3$ ،  $B_1$ ،  $C_4$ ،  $C_9$ ،  $C_{int2}$  و  $C_{16}$ ) را به طور دقیق جهت اقدامات مدیریتی شناسایی کرد. یکی از مزایای مهم روش نوین مطرح شده در این پژوهش این است که تجزیه و تحلیل‌ها بر اساس رابطه آماری و واقعی بین پارامترهای مورفومتریک صورت گرفته که به تبع آن خطای ناشی از مقایسه‌های مدیران در اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز حذف می‌شود. بر این اساس اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز با دقت بیشتری انجام می‌گیرد و اولویت‌بندی‌ها به واقعیت نزدیکتر خواهد بود (آهر و همکاران، ۲۰۱۴، ص ۸۵۰). اگرچه عوامل مختلف فیزیوگرافی، کاربری اراضی، خاکی و هیدرولوژیکی در سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز تاثیر دارد، کمبود اطلاعات و داده‌های لازم برای بررسی‌های عمیق‌تر زیرحوزه‌های آبخیز

اجتماعی و همچنین محدودیت‌های فنی و مالی نیازمند نوعی اولویت‌بندی است. زیرحوزه‌هایی اولویت بیشتری دارند که دارای شرایط بحرانی بوده و یا نزدیک به رودخانه اصلی یا تأسیسات عمومی که حفظ آن‌ها ضروری است باشند. همچنین در بعضی موارد تعیین اولویت بر اساس اشتیاق مردم، موقعیت استراتژیک، فقر، سیل‌خیزی و تولید رسوب صورت می‌گیرد (نجفی نژاد و شنگ، ۱۹۹۷، ص ۱۵۷). آنالیز مورفومتری حوزه‌های آبخیز و رتبه‌بندی آن‌ها با توجه به معیارهای مختلف فیزیوگرافی جهت اقدامات آبخیزداری، یکی از موارد مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز می‌باشد. رتبه‌بندی حوزه‌ها، باعث هدایت صحیح و موثر بودجه، منابع انسانی، تجهیزات و سایر منابع به حوزه‌ای می‌شود که توان و پتانسیل بیشتر برای پیشرفت نسبت به سایر حوزه‌ها در منطقه را دارد (مخدوم، ۲۰۰۰؛ اورگر، ۲۰۰۰، ص ۱۵ و برازیر، ۱۹۹۸، ص ۳۶۰).

کمبود اطلاعات و داده‌های هیدرومتری مربوط به هر زیرحوزه، همواره یکی از مشکلات اصلی تعیین اولویت سیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز برای اجرای اقدامات آبخیزداری محسوب می‌شود (ویتالا و همکاران، ۲۰۰۸، ص ۳۴۹). از آنجا که خصوصیات مورفومتری زیرحوزه‌های آبخیز تاثیر بسیار مهمی در سیل‌خیزی و رفتار هیدرولوژیکی دارد، می‌توان بر اساس آن به

رسید که روش نوین اولویت‌بندی مبتنی بر آنالیز مورفومتريک و همبستگی آماری توانایی خوبی در شناسایی زیرحوزه‌های دارای شرایط بحرانی دارد و در شرایطی که داده‌ها و اطلاعات لازم برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز از نظر سیل‌خیزی وجود ندارد، استفاده از این روش پیشنهاد می‌شود.

مشکلی اساسی در مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود (بادار و همکاران، ۲۰۱۳، ص ۶۴۲۵). تحلیل‌های مبتنی بر پارامترهای مورفومتريک به دلیل ثابت بودن شرایط فیزیوگرافی و مورفومتريک حوزه آبخیز قابل دسترس و قابل استناد است که می‌توان بر اساس آن به اولویت‌بندی زیرحوزه‌های یک حوزه آبخیز پرداخت (آهر و همکاران، ۲۰۱۴، ص ۸۵۸). نتایج این تحقیق نشان داد اگرچه اولویت‌بندی تمام زیرحوزه‌های آبخیز به درستی تخمین زده نشده است، روش مطرح شده توانست تعداد شش زیرحوزه را به طور دقیق با توجه به میزان فرسایش و رواناب تولیدی دقیق شناسایی کند. این امر را می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که بخش عظیمی از پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز مربوط به وضعیت مورفومتريک حوزه آبخیز است و با بررسی دقیق آن می‌توان به نتایج قابل قبولی در اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز پرداخت (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۴، ص ۱۵۸). نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات آهر و همکاران (۲۰۱۴)، بیوکت و تفری (۲۰۰۹)، رحمتی و همکاران (۱۳۹۴) و اسدی نلیوان (۱۳۹۴) همخوانی دارد و روش‌های مذکور را هر چند که به صورت کامل توانایی اولویت‌بندی ندارند و به اطلاعات بیشتری نیازمند هستند، برای اولویت‌بندی مناسب ارزیابی می‌کند. با توجه به نتایج در این پژوهش می‌توان به این جمع‌بندی

## منابع

4. Aher, P., Adinarayana, J., Gorantiwar, S.D.(2014): Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology*, vol. 511, pp 850-860.
  5. Aher, P.D, Adinarayana, J., Gorantivar, S.D.(2013): Prioritization of Watersheds using multi-criteria evaluation through fuzzy analytical hierarchy process. *Agricultural Engineering: CIGR Journal*, 15(1), pp 11- 18.
  6. Aurger, P.(2000): Aggregation and emergence in ecological modelling. *EcologicalModelling*, 127: pp 11-20.
  7. Badar, B., Romshoo, S.A., Khan, M.A.(2013): Integrating biophysical and socioeconomic information for prioritizing watersheds in a Kashmir Himalayan lake: a remote sensing and GIS approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 185, pp 6419-6445.
  8. Bewket, W., Teferi, E.(2009): Assessment of soil erosion hazard and prioritization for treatment at the watershed level: Case study in the Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Land Degradation and Development* 20(6): pp 609-622.
  9. Birkowski, T.(2007) : [https://www.utdallas.edu/~brikowi/Teaching/Applied\\_Modeling/SurfaceWater/LectureNotes/Watershed Dynamics /Basin\\_ Shape\\_ Factor. html](https://www.utdallas.edu/~brikowi/Teaching/Applied_Modeling/SurfaceWater/LectureNotes/Watershed_Dynamics/Basin_Shape_Factor.html).
  10. Brazier, A.(1998): Geographic Information system: A consistent approach to land use planning decisions around hazard installation. *Journal Hazardous Materials*, 61: pp 355-36.
۱. اسدی نلیوان، امید، سقازاده، نرگس، سلحشور دستگردی، مریم، بای، محبوبه، (۱۳۹۴): اولویت بندی زیرحوزه ها با استفاده از آنالیز مورفومتری و GIS به منظور اقدامات آبخیزداری (مطالعه موردی: حوزه آبخیز مراوه تپه، استان گلستان)، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۱، ص ۹۱-۱۰۳.
  ۲. رحمتی، امید، طهماسبی پور، ناصر، پورقاسمی، حمیدرضا، (۱۳۹۴): اولویت بندی سیل خیزی زیرحوزه های آبخیز گلستان بر اساس آنالیز مورفومتری و همبستگی آماری. مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۲، شماره ۲، ص ۱۵۱-۱۶۱.
  ۳. محمدی، علی اصغر، احمدی، حسن، (۱۳۹۰): اولویت بندی زیرحوزه ها جهت ارائه برنامه های احیایی آبخیزداری (مطالعه موردی: حوزه آبخیز معروف). فصلنامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۲۹: ۶۹-۷۷.

11. Chowdary, V.M., Chakraborty, D., Jeyaram, A., Krishna, Y.V.N., Sharma, J.R., Dadhwal, V.K. (2013): Multi-Criteria Decision Making Approach for Watershed Prioritization Using Analytic Hierarchy Process Technique and GIS. *Water Resource Management*, Vol. 27, pp 3555-3571.
12. Grohmann, C.H. (2004): Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R star. *Computer and Geosciences*, vol. 30 (10), pp 1055-1067.
13. Horton, R.E. (1932): Drainage basin characteristics. *Trans. Am. Geophysics. Union* 13: pp 350-361.
14. Horton, R.E. (1945): Erosion development of streams and their drainage basins: Hydro physical approach to quantitative morphology. *Geol. Am. Bull.* 56: pp 275-370.
15. Jain, M.K., Das, D. (2010): Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. *Water resources management* 24(10): pp 2091-2112.
16. Javed, A., Khanday, M.Y., Ahmed, R. (2009): Prioritization of watersheds based on morphometric and land use analysis using RS and GIS techniques. *Journal of the Indian society of Remote Sensing*, 37: pp 261-274.
17. Kholghi, M., 2002. The use of MCDM methods in order to prioritize sub-structural flood control. *Journal of Natural Resources, Range and Watershed Management Journal*, Vol. 55 (4). (In Persian)
18. Makhdoom, M. (2000): First experience of modeling both the organization of geographic information. *Geomantic Conference, National Cartographic*.
19. Melton, M.A. (1958): Correlations structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. *Journal of Geology*, vol. 66, pp 442-460.
20. Miller, V.C. (1953): A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. *Columbia University, Department of Geology, New York*.
21. NajafiNejad, A., Sheng, T.S. (1997): *Guidewatershed (watershed planning studies)*. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
22. Schumm, S.A. (1956): Evolution of drainage systems and slopes in badland, at Perth Amboy, New Jersey. *Geol. Soc. Am. Bull.* 67: pp 597-646.
23. Shieh, G.S. (1998): A weighted Kendall's tau statistic. *Statistics & Probability Letters*, vol. 39(1), pp 17-24.
24. Strahler, A.N. (1964): Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, VT Chow, *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill Book Company, New York, Section 4-11.
25. Thakkar, A.K., Dhiman, S.D. (2007): Morphometric analysis and prioritization of mini-Watersheds in a Mohr Watershed, Gujarat using remote sensing and GIS techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 35(4): pp 313-321.
26. Vittala, S.S., Govindaiah, S., Gowda, H.H. (2008): Prioritization of sub-watersheds for sustainable development and management of natural resources: an integrated approach using remote sensing, GIS and socio-economic data. *Current Science*, vol. 95(3), pp 345-354.

