

## بررسی دینامیکی استحصال آب از مه با نگرشی بر نظریه فرکتال

محمد صادق غضنفری مقدم<sup>۱\*</sup> - امین علیزاده<sup>۲</sup> - مهیار ناصری مقدم<sup>۳</sup> - سید محمد موسوی باگی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۷

### چکیده

امروزه محدودیت منابع آب در اکثر نقاط جهان، بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، از جمله معضلات بزرگی است که گریبان گیر دولت‌مردان و سیاست‌گذاران کشورهای مختلف می‌باشد. به همین دلیل بسیاری از کشورها به دنبال منابع آب جایگزین برای تامین آب مورد نیاز خود می‌باشند. استحصال آب از مه و ابرهای قله‌ای یکی از تکنیک‌های تامین آب شیرین می‌باشد. کشورهای زیادی از جمله شیلی، پرو، اکوادور، کانادا، نامیبیا و نپال بر روی استحصال آب از مه سرمایه‌گذاری کرده‌اند. اما لازمه سرمایه‌گذاری موثر، برآورد هزینه به درآمد این روش است که مستلزم کمی کردن همه موارد می‌باشد. بدست آوردن رابطه ای برای تخمین میزان آب استحصالی یکی از مواردی است که کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. در این پژوهش تلاش شده است که روابط دینامیکی حاکم بر فیزیک ابر و رطوبت جو بررسی شود. بدین منظور از داده‌های میدانی موجود که آب را با جمع‌کننده‌های مختلف از مه استحصال کرده بودند استفاده شد. با استفاده از دو سوم داده‌ها و بر مبنای فرضیات ارائه شده بر اساس ویژگی‌های جمع‌کننده‌ها، بعد فرکتال محاسبه گردید. سپس با استفاده از یک سوم باقی مانده داده‌ها، صحت بعد فرکتال محاسبه شده آزمون شد. نتایج نشان می‌دهد که در سطح احتمال ۹۵ درصد بعد فرکتال برای رابطه دینامیکی برابر با ۲/۵۴ می‌باشد. نتایج این پژوهش بر مبنای داده‌های میدانی محدود بدست آمده و نتایجی با دقت و اطمینان بالاتر با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی قابل استحصال می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** مه، نظریه فرکتال، ابر قله‌ای، استحصال آب از مه

### مقدمه

رطوبت جو یکی از منابعی است که می‌تواند تامین کننده بخشی از نیاز آب شیرین منطقه به شمار رود (۴).

کشورهای زیادی بر روی استحصال آب از مه سرمایه‌گذاری کرده‌اند. شیلی، پرو، اکوادور، کانادا، نامیبیا و نپال از جمله این کشورها می‌باشند. در شیلی در یکی از روستاها که پروژه استحصال آب از مه اجرا شده است، روزانه حدود ۱۱۰۰۰ لیتر آب آشامیدنی از این منبع تامین می‌شود (۱۴ و ۱۵).

تکنیک‌های متعددی برای استحصال آب از مه در نقاط مختلف جهان با توجه به شرایط منطقه به کار گرفته می‌شود. چاله‌های شبنم<sup>۳</sup>، چاله‌های تهویه‌ای<sup>۴</sup>، حصار جذب مه<sup>۵</sup> و جمع‌کننده‌های برداشت مه<sup>۶</sup> از انواع سیستم‌های جمع‌آوری رطوبت مه می‌باشند (۴).

در منابع تاریخی و آثار بجا مانده از اقدامات تجربی ساکنین مناطق خشک در ایران، به‌خوبی می‌توان به آشنایی پیشینیان در

آب یکی از حیاتی‌ترین نیازهای بشر می‌باشد. منابع آب یکی از فراوان‌ترین منابع طبیعی در سطح جهان به‌شمار می‌رود. ولی با وجود حجم زیاد آب‌های کره زمین، تنها ۳ درصد از آن‌ها شیرین می‌باشد. این مسئله کمبود منابع آب شیرین را نشان می‌دهد. اهمیت موضوع وقتی نمایان می‌شود که تنها ۱ درصد این آب‌ها در دسترس می‌باشد و بقیه تقریباً بدون برداشت می‌باشند. آب‌های شیرین بدون استفاده یا در یخچال‌ها و کلاهک‌های قطبی ذخیره شده‌اند و یا به صورت بخار در اتمسفر زمین موجودند که در اکثر موارد استفاده از آن‌ها بدلیل عدم توجیه اقتصادی مقرون به صرفه نیست (۳).

ولی مناطقی وجود دارد که در بسیاری از روزهای سال دارای مه می‌باشند. همچنین در برخی مناطق بدلیل وجود شرایط مطلوب و توپوگرافی زمین ابرهای قله‌ای در ارتفاعات شکل می‌گیرند. بنابراین

3 - Dew pounds  
4 - Air well  
5 - Fog fences  
6 - Fog harvesting

۱، ۲، ۳ و ۴ - به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد، دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
( \* - نویسنده مسئول: Email: msgm@enginee.com )

می‌گیرد، با جذب قطره‌های آب رطوبت مه را جذب می‌کند.

جدول ۱- میزان آب استحصالی از جمع‌کننده‌ها (۱)

جمع‌کننده	پرده‌ای	تک‌جداره	دوجداره
آب استحصالی (L/m <sup>2</sup> )			
۱	۰/۰۴	۰/۰۴۴	۰/۰۵۶
۲	۰/۲۷۶	۰/۴۴۴	۰/۵
۳	۰/۱۰۳	۰/۰۷۷	۰/۲۲۷
۴	۰/۳۴۵	۱/۴۳۳	۱/۴۵۵
۵	۰/۲۷۶	۱/۳۴	۱/۲۷۳
۶	۰/۳۴۵	۱/۹۸۵	۳/۲۲۷
۷	۰/۴۱۴	۱/۴۴۳	۱/۴۵۵
۸	۱/۸۹۷	۱/۶۴۹	۲/۲۲۷
۹	۰/۰۵۲	۰/۰۴۱	۰/۰۹۱
۱۰	۰/۲۵	۰/۲۵۸	۰/۵
۱۱	۰/۰۵۲	۰/۰۷۷	۰/۱۳۶
۱۲	۰/۰۹۵	۰/۱۰۳	۰/۱۸۲
۱۳	۰/۰۶۹	۰/۰۷۲	۰/۱۳۶
۱۴	۰/۱۶۴	۰/۱۵۵	۰/۳۱۸
۱۵	۰/۱۰۳	۰/۰۷۷	۰/۲۲۷
۱۶	۰/۰۸۶	۰/۰۵۲	۰/۱۸۲
۱۷	۰/۶۲۷	۰/۶۷	۱/۳۶۴
۱۸	۰/۱۹	۰/۲۰۶	۰/۴۰۹
۱۹	۰/۱۴۷	۰/۱۰۳	۰/۳۰۸
۲۰	۰/۱۰۳	۰/۱۲۹	۰/۲۷۳
۲۱	۰/۴۰۵	۰/۲۵۶	۰/۹۰۹
۲۲	۰/۵۱۷	۰/۶۱۹	۱/۳۶۴
۲۳	۰/۴۷۴	۰/۴۱۲	۱/۰۴۵
۲۴	۰/۴۳۱	۰/۳۰۹	۰/۹۰۹
۲۵	۰/۴۴۸	۰/۳۳۵	۰/۹۰۹
۲۶	۰/۰۵۲	۰/۰۴۱	۰/۰۹۱
۲۷	۰/۲۵	۰/۲۵۸	۰/۵
۲۸	۰/۶۷۲	۰/۶۷	۱/۳۶۴
۲۹	۰/۱۹	۰/۲۰۶	۰/۴۰۹
۳۰	۰/۱۴۷	۰/۱۰۳	۰/۳۱۸
۳۱	۰/۱۶۴	۰/۱۵۵	۰/۳۱۸
۳۲	۰/۱۰۳	۰/۰۷۷	۰/۲۲۷
۳۳	۰/۰۸۶	۰/۰۵۲	۰/۱۸۲
۳۴	۰/۲۹۳	۰/۲۳۲	۰/۳۶۴
۳۵	۰/۰۹۵	۰/۰۷۷	۰/۱۸۲
۳۶	۰/۳۶۲	۰/۲۰۶	۰/۵
۳۷	۰/۰۸۶	۰/۰۵۲	۰/۱۸۲

بهره‌برداری از پدیده شبنم و مه پی‌برد. زارعین در مناطق مه خیز در زمین‌های خود جوی و پشته‌ها را برای استفاده حداکثر از شبنم، عمود بر حرکت مه احداث کرده‌اند (۹).

در پژوهشی که در سال ۱۳۸۵ در ارتفاعات اطراف مشهد انجام گردید، مقدار آب استحصالی از مه توسط جمع‌کننده‌های مه مختلف اندازه‌گیری شد. داده‌های بدست آمده امکان استحصال آب را در این مناطق از رطوبت جو نشان می‌دهد (۱).

استحصال آب از منابع جایگزین همواره باید بر اساس توجیه اقتصادی باشد. اطلاع دقیق و صحیح از پتانسیل منابع برای استحصال کمک زیادی به آنالیز هزینه به منافع می‌باشد. یکی از شروط موفقیت در این پروژه‌ها تخمین مناسب از حجم آب قابل استحصال قبل از اجرا می‌باشد. بنابراین بدست آوردن روابط دینامیکی و تجربی یکی از نیازهایی است که به آن توجه کامل نشده است. هدف از این پژوهش بدست آوردن بعد فرکتالی برای رابطه‌ای است که بتواند میزان آب استحصالی را با داشتن تراکم شبکه جمع‌آوری کننده و مقدار آب موجود در مه با استفاده از روابط دینامیکی تخمین بزند. نتایج بدست آمده از پژوهش شعبان زاده (۱) به عنوان داده‌های مشاهده شده برای بدست آوردن بعد فرکتال و آزمون این در معادله دینامیکی مورد استفاده قرار گرفت.

### اصول نظری

قطره‌های موجود در ابر تا زمانی که قطرشان به ۵۰ میکرون نرسد امکان سقوط ندارند (۷). با توجه به این که قطرهای موجود در مه قطری حدود ۱ تا ۴۰ میکرون دارند، نمی‌توانند در اثر نیروی ثقل سقوط نمایند. بنابراین بایستی عاملی باعث رشد قطره‌ها و یا جذب آن‌ها شود. جمع‌کننده‌های مه شامل شبکه‌ای از تورهایی است که با نخ‌های نایلونی نازک بوجود آمده‌اند. این نخ‌ها به عنوان سطوح جمع‌کننده مه بر سر راه قطره‌های آب موجود در مه قرار گرفته و آن‌ها را جذب می‌نمایند.

### توزیع اندازه ذرات

مارشال و پالم در سال ۱۹۴۸ نشان دادند که توزیع اندازه ذرات قطره‌ها از معادله زیر بدست می‌آید (۶).

$$n(D_0) = n_0 \exp(-\Lambda D_0) \quad (1)$$

در رابطه (۱)  $D_0$  قطر قطره،  $n(D_0)$  تعداد قطره‌ها با قطر  $D_0$  در واحد حجم،  $\Lambda$  عکس میانگین قطر قطره‌ها بر حسب  $\text{mm}^{-1}$  و  $n_0$  ضریب ثابت و برابر با  $8 \times 10^3$  می‌باشند.

### ضریب برخورد

نخ نایلونی جمع‌کننده مه وقتی در مقابل جریان حرکت هوا قرار

مقطع جمع کننده و  $t$  زمان می باشد.

### نظریه فرکتال<sup>۳</sup>

اگر برش عرضی ابر در نظر گرفته شود، قطرکهای آب در صفحه به صورت دایری با شعاعهای مختلف ظاهر می شوند. اگر شبکه جمع کننده مه نیز در این صفحه نقش شود، تعداد نقاط برخورد قطرکها با خطهای شبکه (نخها) بیانگر تعداد قطرکهای آبی که بر سر راه نخها قرار دارند می باشد. بنابراین با دانستن این نکته که چه تعداد نقطه برخورد وجود دارد، می توان حجم آب استحصال را تخمین زد. البته بایستی ضریب برخورد را نیز در نظر گرفت. تعداد نقاط برخورد بستگی به تراکم شبکه جمع آوری کننده و نحوه قرارگیری قطرکها دارد (۱۲).

برای اولین بار مندلبروت<sup>۴</sup> در سال ۱۹۸۲ نظریه فرکتالها را مطرح کرد. در این نظریه که در مقابل هندسه اقلیدسی قرار می گیرد، ابعاد هندسی اعداد صحیح نبوده و به صورت اعشاری بیان می شوند. همچنین اشیاء متقارن نبوده، بلکه خود متشابه اند. بسیاری از عوارض و پدیدهها در طبیعت رفتار فرکتالی دارند. از جمله می توان به رعد و برق، شاخ و برگ درختان، مغز انسان و ... اشاره کرد. ابرها یکی از عوارضی هستند که رفتار فرکتالی دارند (۵).

در محیطهای فرکتالی، شکل عمومی نا منظمیها بر روی یک صفحه به درجه بزرگنمایی که تحت آن جسم دیده می شود بصورت معادله زیر بستگی دارد (۲).

$$N_2 = N_1 \times G^D \quad (6)$$

که در آن،  $G$  درجه بزرگنمایی،  $N_1$  تعداد نامنظمیها قبل از بزرگنمایی،  $N_2$  تعداد نامنظمیها بعد از بزرگنمایی و  $D$  بعد فرکتالی<sup>۵</sup> می باشد.

برای مثال برای محاسبه سطح سایه انداز ابرها که به صورت دو بعدی بررسی می گردند بعد فرکتالی ۱/۳۵ می باشد (۱۳).

براین اساس اگر بزرگنمایی بصورت تراکم شبکه جمع آوری کننده فرض شود، تعداد برخوردها را با شبکه و در نتیجه حجم آب استحصالی تخمین زده می شود.

### مواد و روشها

در این مقاله ابتدا با استفاده از روابط دینامیکی حاکم بر فیزیک ابر، توزیع قطرکهای آب در ابر و مقدار آب موجود در ابر مورد بررسی قرار گرفت. سپس فرضیه فرکتالی بودن نحوه توزیع قطرکها مطرح شد. براساس این فرضیه تراکم شبکه جمع کننده به عنوان

اما حرکت هوا در اطراف نخ باعث بوجود آمدن یک لایه مرزی<sup>۱</sup> در اطراف نخ می شود که موجب پراکنده شدن قطرکهای مه می شود. بنابراین تمامی قطرکهایی که در مسیر نخ قرار دارند به آن برخورد نمی کنند. این فرایند مانند سقوط قطره باران در ابر است. اگر شعاع نخ نایلونی  $R$  باشد و قطرکهایی که به نخ برخورد می کنند دارای شعاع  $r$  باشند، ضریب برخورد از معادله زیر بدست می آید (۱۱).

$$E(R, r) = \frac{y_c}{(R + r)^2} \quad (2)$$

در معادله (۲)،  $E(R, r)$  ضریب برخورد قطرکها با نخ،  $R$  شعاع نخ نایلونی بر حسب  $mm$  و  $r$  شعاع قطرک بر حسب  $mm$  بوده که  $y_c$  بیشترین جایجایی افقی قطرکهای آب در اثر لایه مرزی نخ بر حسب  $mm$  می باشد. ضریب برخورد برای قطرکهای ابر با شعاع کمتر از  $3/2 \mu m$  برابر صفر می باشد که برای شعاعهای بزرگتر از  $3/2 \mu m$  معادله زیر بدست می آید.

$$E = 0.4 \log(r) + 1 \quad r \leq 0.6 \text{ mm} \quad (3)$$

$$E = 0.9 \quad r > 0.6 \text{ mm}$$

### مقدار آب مایع (LWC)<sup>۲</sup>

با استفاده از معادله زیر با دانستن شعاع هر قطرک ( $r$ ) همانگونه که ذکر شد در مه بین ۱ تا ۴۰ میکرون است. و تعداد قطرک با شعاع  $r$  در واحد حجم ( $N$ ) که از معادله توزیع اندازه ذرات مارشال-پالمر بدست می آید، می توان مقدار LWC را محاسبه نمود (۷).

$$LWC = \frac{4\pi \times N \times r^3}{3 \times 10^4} \quad (4)$$

که در آن LWC مقدار آب مایع در مه بر حسب لیتر در متر مکعب،  $N$  تعداد قطرکها با شعاع  $r$  بر حسب  $mm$  می باشد. با دانستن مقدار LWC می توان پتانسیل استحصال آب از مه را محاسبه نمود.

### شار جریان بخار

شار جریان بخار از داخل شبکه توری جمع کننده با دانستن سرعت باد و با محاسبه مولفه عمود سرعت بر شبکه جمع کننده محاسبه می شود. با توجه به اینکه تعداد قطرکها با قطرهای مختلف از معادله (۱) محاسبه می شود، شار عبوری قطرکها از واحد سطح با معادله زیر محاسبه می شود.

$$F_v = \sum \left( \frac{4 \times \pi N r^3}{3 \times A \times t} \right) \quad (5)$$

که در آن  $N$  تعداد قطرکهای با شعاع  $r$  در واحد حجم،  $A$  سطح

3 - Fractals Theory

4 - Mandelbrot

5 - Fractal dimension

1 - Boundary layer

2 - Liquid water content

داده های موجود بعد فرکتال تخمین زده شد. سپس با استفاده از ۳۴ درصد باقی مانده بعد فرکتال بدست آمده آزمون شد. بدین منظور نرمال بودن دو دسته داده آزمون شد. سپس میانگین شیب داده ها در دسته ۳۴ درصد با میانگین شیب داده ها در دسته ۶۶ درصد (بعد فرکتال بدست آمده) با آزمون مقایسه میانگین مقایسه گردید.

مقیاس	سطح جمع کننده (Cm <sup>2</sup> )	تعداد نخ	جمع کننده
0.058	10000	580	پرده ای
0.1	1942	200	تک جداره
0.24	3231	800	دوجداره

### نتایج

در معادله (۷)، نامشخص بودن مقدار  $N_1$  در شیب تغییری ایجاد نمی کند، لذا نمودار  $\text{Log}(N)$  (حجم آب استحصال شده) در مقابل  $\text{Log}(G)$  (مقیاس انتخاب شده برای جمع کننده) رسم شد (شکل ۱).

نرمال بودن شیب ها در دو دسته از داده ها برای مقایسه میانگین انجام شد. آزمون نرمال بودن برای این داده ها به تفکیک برای دو دسته داده انجام شد. برای این منظور ۶۶ درصد داده ها که بر اساس آن داده ها بعد فرکتال بدست آمده در یک دسته و ۳۴ درصد باقی مانده در دسته دیگر قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمون رایان-جوینر برای نرمال بودن داده ها در جدول ۳ آمده است (۱۰).

با توجه به اینکه داده ها دارای توزیع نرمال می باشند، مقایسه میانگین برای شیب دسته ۳۴ درصد با توجه به میانگین شیب بدست آمده در دسته ۶۶ درصد (بعد فرکتال محاسبه شده) انجام شد.

برای تمام ۲۴ سری داده (۶۶ درصد کل داده ها) شیبها تعیین گردید. نتایج حاصل از آنالیز آماری شیب ها نشان داد که بعد فرکتال برابر با ۲/۵۴ می باشد و شیب ها دارای توزیع نرمال می باشند (جدول ۲).

آزمون مقایسه میانگین برای شیب های دسته ۳۴ درصد انجام گردید. بدین منظور آزمون Sample t بر روی داده ها انجام شد که نتایج در جدول ۳ آمده است.

نتایج جدول ۳ نشان می دهد که فرض  $H_0$  (میانگین دسته مخالف ۲/۵۴) در سطح ۹۵ درصد رد می شود. بنابراین می توان بعد فرکتال را برابر با میانگین شیب دسته ۶۴ درصد، یعنی برابر با ۲/۵۴ فرض نمود.

مقیاس در رابطه فرکتالی در نظر گرفته شد. برای آزمون آماری این فرضیه، آمار ۳۷ سری استحصال آب از سه نوع شبکه با تراکم های مختلف مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). داده ها به دوسری تقسیم شد. دو سوم از داده ها (سری ۱ تا ۲۴ در جدول ۱) برای تعیین بعد فرکتال و یک سوم دیگر (سری ۲۵ تا ۳۷ در جدول ۱) برای آزمون صحت بعد فرکتال مورد استفاده قرار گرفتند.

بر اساس نوع جمع کننده و تراکم نخ های نایلونی در واحد سطح، برای هریک از جمع کننده ها یک عدد به عنوان مقیاس در رابطه فرکتالی در نظر گرفته شد. این عدد بر اساس تراکم نخ (تعداد نخ در واحد سطح) در شبکه جمع آوری کننده انتخاب شد. تعداد برخورد قطرک ها با نخ های نایلونی در عبور مه از شبکه جمع آوری کننده مقدار آب استحصالی را تعیین می کند. بنابراین افزایش تراکم باعث افزایش برخورد در نتیجه افزایش آب استحصالی می شود. بنابراین اگر فرض شود که توزیع قطرک ها فرکتالی می باشند، می توان تراکم شبکه جمع کننده را به عنوان مقیاس در رابطه فرکتالی در نظر گرفت. چراکه با توجه به طبیعت فرکتالی توزیع قطرک ها، در صورتی که تراکم (مقیاس) بیشتر شود، رفتار قطرک ها (برخورد با نخ عای نایلونی) مشابه حالت قبل می باشد.

مشخصات جمع کننده های پرده ای (قاب مربعی با ابعاد ۱۰۰cm×۱۰۰cm)، مخروطی تک جداره (قطر دایره بزرگ ۲۱cm، قطر دایره کوچک ۱۲cm و ارتفاع ۳۷cm) و مخروطی دوجداره (قطر دایره بزرگ ۲۵cm، قطر دایره کوچک ۲۰cm و ارتفاع ۴۶cm) با مقیاس های مختلف در جدول (۲) آمده است.

### فرضیات

برای محاسبه میزان آب استحصالی، مقدار آب مایع (LWC) مورد نیاز می باشد. اما داده های میدانی فاقد آمار LWC بودند. LWC مقدار آب موجود در ابر یا مه می باشد که در هر بار برداشت برای هر سه نوع جمع کننده مقدار ثابتی بوده است.

در اینصورت مقدار  $N_1$  در معادله (۶) را که با LWC تعیین

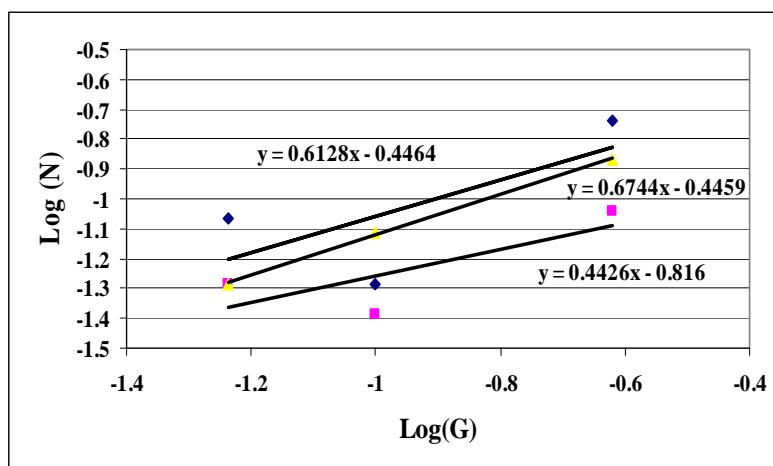
می گردد را ثابت فرض کرد. بنابراین اگر نمودار  $\text{Log}\left(\frac{N}{N_1}\right)$  در

مقابل  $\text{Log}(G)$  برای هر بار برداشت رسم شود، معادله زیر بدست می آید که شیب آن بیانگر بعد فرکتالی (D) می باشد.

$$\text{Log}\left(\frac{N}{N_1}\right) = D \cdot \text{Log}(G) \quad (7)$$

در نتیجه بخاطر نامشخص بودن LWC تنها عرض از مبدا تحت تاثیر قرار می گیرد و بر مقدار شیب که همان بعد فرکتال است تاثیری ندارد.

لذا با داشتن مقدار آب استحصالی از هر شبکه و دانستن تراکم آن شبکه، بعد فرکتالی تخمین زده می شود. با استفاده از ۶۶ درصد



شکل ۱- نمودار  $Log(N)$  در مقابل  $Log(G)$

(برای جلوگیری از شلوغ شدن، تنها ۳ سری داده از ۳۷ سری ترسیم شده است.)

جدول ۳- جدول نتایج حاصل از آزمون نرمال بودن مربوط به داده های شیب

دسته	درصد از کل	میانگین شیب ها	انحراف معیار شیب ها	R	P-value	وضعیت توزیع
۱- واسنجی	۶۶	۲/۵۴	۰/۹۳	۰/۹۶	> ۰/۱	نرمال
۲- آزمون	۳۴	۲/۴۸	۰/۲۷	۰/۹۴	> ۰/۱	نرمال

جدول ۴- مقایسه میانگین برای شیب های آزمون (دسته ۳۴ درصد) با فرض  $H_0$  میانگین مخالف ۲/۵۴ در سطح ۹۵ درصد

دسته	درصد از کل	میانگین شیب ها	انحراف معیار شیب ها	t	P-value	وضعیت فرض
۱- دسته	درصد از کل	میانگین شیب ها	انحراف معیار شیب ها	t	P-value	وضعیت فرض
۲- آزمون	۳۴	۲/۴۸	۰/۲۷	-۰/۶۴	۰/۵۳	رد فرض $H_0$

## پیشنهادات

نتایج این تحقیق را می توان از جنبه های مختلف بررسی کرد و پیشنهادات ذیل را ارائه نمود.

با توجه به اینکه تمامی جمع کننده ها یک شکل نبوده و از سه نوع، دو نوع آن ها به هم شبیه بوده اند، با یکسان شدن وسایل ممکن است نتایج این پژوهش بهبود یابد.

یکسان بودن تمامی شرایط محیطی، از جمله حرکت جریان مه از داخل شبکه جمع آوری، شرط لازم برای انجام آزمایش می باشد. بنابراین فراهم کردن شرایطی یکنواخت که تنها در تراکم شبکه متفاوت باشند از عواملی است که نتیجه بدست آمده را با اطمینان بیشتری تأیید می کند.

دانستن LWC برای آزمون صحت نتایج ضروری می باشد.

بنابراین مطالعه ای بر پایه اطلاعات کامل می تواند به تخمین دقیق تر بعد فرکتال کمک نماید.

به نظر می رسد هنوز بر روی تعیین آب استحصال از مه مطالعات کافی صورت نگرفته است. با توجه به اینکه رطوبت جو یکی از منابع تامین آب شیرین می باشد، نیاز به تحقیقات بیشتر و مطالعات تکمیلی در این خصوص مفید خواهد بود.

فرض فرکتالی بودن توزیع قطرک ها در مه و بعد فرکتال بدست آمده در این تحقیق تنها براساس داده های میدانی موجود و با آنالیز آنها بدست آمده است. با توجه به محدودیت این داده ها و شرایط ذکر شده در بالا، برای اطمینان بیشتر از صحت نتایج و تعیین دقیق تر بعد فرکتال نیاز به داده های آزمایشگاهی در شرایط یکنواخت و مشابه شرایط محیطی مه می باشد.

## منابع

- ۱- شعبان زاده س. ۱۳۸۵. بررسی امکان استحصال آب از مه و ابرهای قله ای پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مهندسی آب
- 2- Addison P.S. 2005. Fractal and Chaos. Oversea Press ( India) 256.
- 3- Burkard R. 2003. Fog water collection system, Atmospheric environment, 37, 2979-2990
- 4- Jana O. 2002. Fog harvesting : An alternative source of water supply on the west coast of South Africa, Geojournal, Volume 61, Number 2, pages 203-214(12)
- 5- Mandelbrot B.B. 1982. The Fractal Geometry of Nature. W.H. Freeman and Company.
- 6- Marshall J.S. and Palmer W.M. 1948. The distribution of raindrops with size, Journal of Meteorology, 5, 165-166
- 7- McIlveen R. 1995. Fundamentals of weather and climate. Chapman & Hall,.
- 8- Mousavi-Baygi M. 2001. The modeling and measurement of enhancement rainfall and wet-deposition in complex terrain. PhD thesis. Tom Choulaton, university of Manchester
- 9- Mousavi-baygi M. 2008. The implementation of fog water collection systems in Northeast of Iran. International Journal of Pure and Applied Physics, Volume : 4, Issue : 1.
- 10- Pfaffenberger R.C., and Dielman T.E. 1991. Testing normality of regression disturbances : A Monte Carlo study of the Filleben test. Computational Statistics & Data Analysis. Volume 11, Issue 3, 265-273.
- 11- Pruppacher H.R., Klett J.D. 1980. Microphysics of clouds and precipitation. D, Reidel publishing company.
- 12- Rogers R.R. 1996. A short course in cloud physics. Pergamon press.
- 13- Roland B. Stull. 1995. Meteorology today for scientists and engineers. west publishing co. 385.
- 14- Schemenauer R.S., and Cereceda P., 1994. The Role of Wind in Rainwater Catchment and Fog Collection, Water International, Volume 19, Issue 2 , pages 70 – 76
- 15- Schemenauer R.S., Cereceda P., and Suit M. 1992. An alternative water supply for Chilean coastal desert villages. Water resources Development, 8, 53-59

## Dynamical Assessment of Fog Harvesting Based on Fractal Theory

M.S. Ghazanfari<sup>1\*</sup> - A. Alizadeh<sup>2</sup> - M. Naseri<sup>3</sup> - S. M. Mousavi B.<sup>4</sup>

### Abstract

The limitation of water sources in most places all over the world, especially in arid and semi-arid lands is an important Issue for those who live in these areas. Many governments have dedicated their efforts toward finding new water resources to obtain water. Fog and cap clouds harvesting are one of the candidate methods to produce pure water. Many countries including Chile, Peru, Ecuador, Canada, Namibia and Nepal Have yet invested on fog harvesting. On the other hand, no significant calculation studies have been yet carried out on quantifying fog harvesting. In this work, we examined the Physical and dynamic relationship between cloud physics and atmosphere humidity; factors such as distribution of particle amounts, collection efficiency, water including base cloud and vapour flux were all considered. We also presented a new method to estimate fog harvesting, based on fractal theory and concerning the characteristics of collecting devices. Finally, we successfully evaluated the theories for fractal dimension of particle distribution, using the real data of fog harvesting. The incremental fractal dimension reliability was found to be 83% acceptable.

**Keywords:** Cap cloud, Fog, Fog harvesting, Fractal theory