الخصائص الهيدروكيميائية لنبع معلولا ودلائلها الجيومورفولوجية

الأستاذة الدكتورة فاتنة ياسين الشعال*

المخلص

رغم صعوبة الإحاطة الكاملة بجوانب النشاط الكارستي وأبعاده الجيوفولوجية، حاولنا في دراستنا هذه إظهار مدى تأثير سرعة التحلل الكارستي في نبع معلولا الكارستي الذي يروي مدينة معلولا، وعجزه ضمن الظروف الحيوية والمناخية الحالية عن تفسير نشأة الظواهر الباطنية منها والسطحية، كالخدوش الكارستية Lapies بأنواعها السائدة هنا، والآفن غير المتطورة المنتشرة في منطقة الدراسة، ويعزى العجز المذكور إلى افتقار منطقة الدراسة إلى الغطاء النباتي الكثيف القادر على إعطاء الأحماض العضوية المهمة للنشاط الكارستي من جهة، وإلى انخفاض كميات التهطال التي لا يزيد معدلها السنوي هنا على 218مم، وارتفاع متوسطة درجة الحرارة السنوي الذي يصل إلى 14 ° مئوية، وما يترتب على ذلك من ارتفاع كبير لمعدلات البخر / (النتح) السنوي التي تصل إلى 198.99مم، ويؤدي هذا إلى التناقض الكبير لما نطلق عليه معدل التهطال الصافي الذي يبلغ نحو 27.91 مم/السنة، ونتيجةً حتمية لما تقدم يجب التنبيه على أنَّ معظم الأشكال الكارستية يعود تشكلها إلى العصور ما بين الجليديات الرباعية. جينـــز – مندل – ريس – فورم، وأواخر الحقب الجيولوجي

* قسم الجغرافية – كلية الآداب والعلوم الإنسانية – جامعة دمشق

الثالث، ولاسيما أن سرعة التحلل الكارستي الحالية لا تزيد على 3.96مم / 1000 سنة، وهي لا تسمح بنشوء سوى الظواهر الكارستية الأكثر حداثة.

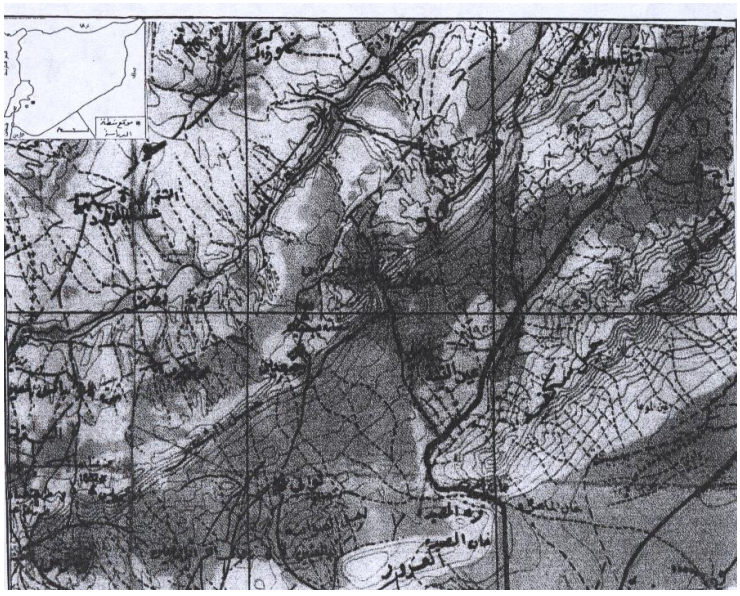
ويمكن أن تستنفذ مياه نبع معلولا في جريانها الباطني قبل خروجها إلى السطح كامل قدرتها على حل الصخور الكربوناتية وإذابتها، وقد أثبتت الدراسة الرياضية الكيميائية أن مياه النبع المذكور هي مياه كارستية مشبعة نسبياً في غالبية أيام السنة، فهي مجبرة على التخلي عن جزء من حمولتها الكربونية وترسيبها على شكل كربونات الكالسيوم وكربونات المغنـــزيوم، محررةً أو مطلقة كمية محددة من غاز ثاني أكسيد الكربون كافية للعودة بمياه نبع معلولا إلى التوازن التام.

مقدمة:

كانت دراسة الكارست لدى الجيومورفولوجين حتى وقت قريب وضعية أقرب إلى السطحية، ولكن مع تطور العلوم لم تعد تلقى قبولاً لدى المختصين بالكارست ولاسيما بعد أن وضع التطور العلمي في متناول أيديهم وسائل دراسة وأساليب بحث مخبري وكيميائي رياضي مكنهم من تدعيم نتائج البحوث والدراسات الميدانية تساعدهم على التقدير الكمي للنشاط الكارستي الذي يُعدُّ انعكاساً مباشراً لمدى تأثير تفاعل الشروط والظروف المناخية والحيوية في الصخور الكربونية – والتي تؤثر في تكوّن التضاريس وتطورها – وتسهم في تقدير العمر التقريبي للظاهرات المدروسة. وانطلاقاً مما سبق حاولنا تحديد الدور الذي يؤدي النشاط الكارستي السائد هنا في ظل الظروف والشروط المناخية والحيوية الحالية في تكوين الظاهرات الكارستية في منطقة الدراسة. ولكن الهدف الأهم في بحثنا هو أولاً حساب سرعة التحلل الكارستي وثانياً تحديد الخصائص النوعية لمياه نبع معلولا. ليكونا مدخلاً بالغ الأهمية لمحاولة تقدير مدى فعاليتها وقدرتها على تحليل الصخور الكلسية وإذابتها حتى خروجها إلى السطح، وتقوم درجات الحرارة بدور جوهري في ذلك، إذ تحدد قدرة المياه الطبيعية على حل غاز ثاني أوكسيد الكربون المنتشر في الغلاف الجوي وفي هواء التربة وإذابته وتحليله إلى حمض كربوني تبعاً للتفاعل الآتي:

$$H_2O + CO_2 \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} H_2CO_3$$

ويسهم الحمض المذكور بتأثير محسوس ومهم جداً في تحليل الصخور المختلفة ولاسيما الصخور الكلسية والدولومية (صخور منطقة الدراسة) الواقعة ضمن سلسلة القلمون الأولى، إن نقطة خروج نبع معلولا إلى السطح تقع عند تقاطع خط الطول 32 َ36 ْ مع خط العرض 33 ْ 55 َ. وعلى ارتفاع 1480م فوق سطح البحر.



شكل (1) الوضع الطبوغرافي لمنطقة الدراسة. المصدر مصور دمشق الطبوغرافي مقياس 1/200.0000

تُعدّ منطقة الدراسة بمجملها مظهراً جيومورفولوجياً مميزاً وبالغ الأهمية، تحكمت العوامل البنائية في تكوين المشهد التضاريسي لعناصره كافة تحكماً شبه مطلق، إلى جانب مع جملة الظروف والأوضاع المناخية التي تتالت على المنطقة منذ مطلع الحقب الجيولوجي الرابع، وربما تعود البدايات الأولى لنشوء أشكالها الأولية إلى أواخر الحقب الجيولوجي الثالث، ولاسيّما أن سرعة التحلل الكارستي الحالية التي لا يزيد معدلها على 3.96مم/1000 سنة لا تسمح بتفسير نشوء بعض الظواهر الكارستية الأكثر حداثة والأقل أهمية، ونعني بها هنا الخدوش الكارستية الكامنتزا والأفنات ذوات الأبعاد الصغيرة التي لا تزال في البدايات الأولى لنشوئها.

منهج البحث:

بهدف الوصول إلى قدرة مياه نبع معلولا على تحليل الصخور اعتمدنا منهج بحث ينضوي على:

1) تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه نبع معلولا، بناءً على معطيات التحليل المخبري لمياه النبع ونتائجه، ومقارنتها بنتائج الدراسة المناخية.
2) معرفة الخصائص والظروف المناخية السائدة في منطقة الدراسة، بناءً على معطيات محطة معلولا للأرصاد الجوية.
3) اتباع الطريقة الرياضية الكيميائية المبنية على نتائج تحليل المعطيات المناخية والمخبرية، في محاولة جادة لتقديم دراسة أكاديمية بعيدة عن التخمين، بالاعتماد على اللغة الرياضية في تحديد نوع المياه المدروسة، وفي تقدير الدور الذي أدته، ويمكن أن تؤديه في جميع الأنشطة والفعاليات الكارستية.

الدراسات السابقة:

تعددت الدراسات لمنطقة معلولا من الناحية الدينية والجيولوجية، ولكن لم يتعرض أي باحث لدراسة الخصائص الهيدروكيميائية لنبع معلولا، ولم تكن موضوعاً لبحث علمي يهدف إلى التقدير الكمي لمدى قدرة نبع معلولا على تحليل الصخور، كما أنها لم تكن موضوعاً لدراسة تهدف إلى تحديد سرعة التحلل الكارستي في منطقة الدراسة، وإنما اقتصرت الدراسات المتعلقة بمعلولا على إبراز أهمية معلولا جغرافياً ودينياً وسياحياً، أما النبع الحيوي الذي يؤدي دوراً بالغ الأهمية وجوهرياً في تشكل خانق معلولا فقد خصصنا دراستنا الحالية لإلقاء الضوء على الجوانب التي ظلت غائبةً عن الأنظار في هذا النبع على الرغم من أهميته الكارستية المطلقة؛ ولذلك ركزنا على تحديد الدور الذي تؤديه مياه النبع المذكور في جيومورفولوجية الكارست ضمن منطقة الدراسة، وذلك بالتصدي لتحديد درجة عدوانية المياه الكارستية، معتمدين

في محاولتنا الرياضية الكيميائية على الخصائص الهدروكيميائية لمياه النبع المدروس لحظة خروجها إلى السطح بعد مرورها في شبكة من المجاري والأقنية الكارستية الباطنية المعقدة، ثُمَّ قمنا بحساب سرعة التحلل الكراستي هنا، موضحين بذلك جانبين مهمين لم يكونا معروفين إطلاقاً في منطقة الدراسة، ذلك لأن الدراسات والبحوث العلمية الأولى الهادفة إلى صياغة علاقات رياضية تهدف إلى تحديد سرعة التحلل في المناطق الكارستية تعود إلى القرن الماضي، لكنها لم تكلل بالنجاح إلا في مرحلة متأخرة حين صاغ (كوربل J.Corbel) عام 1957م معادلته المعروفة التي كانت ولا تزال الأكثر قبولاً وانتشاراً لدى معظم الاختصاصيين بالكارست، نظراً لسهولة ت طبيقها ودقة نتائجها، وشكلت المعادلة أو العلاقة المذكورة الأساس الذي بنيت عليه المحاولات اللاحقة التي انتهت إلى صياغة علاقات رياضية جادة تحقق الغاية ذاتها، وكان أبرزها علاقة ويليامز Williams التي صاغها عام 1963 آخذاً بالنظر كثافة الصخور في المنطقة المدروسة بوصفها متغيراً لم يُدْخِلْهُ كوربل في علاقته، في حين اقترح بولينا Pulina علاقةً جديدة عام 1966 ناظراً إلى مساحة الحوض المدروس على أنها متغير رئيسي يتدخل في تحديد سرعة التحلل الكارستي، ووضع جيمس James معادلته المعروفة عام 1966 مدخلاً فيها معامل تصحيح رياضياً، يهدف إلى تجاوز الأخطاء المترتبة على التبدلات الفجائية لمعدلات صبيب الينابيع الكارستية المدروسة أو تصريفها، أما بيكنسال Beckinsale فقد اقترح علاقة جديدة عام 1972 ناظراً إلى الوزن النوعي للصخور الكارستية وحجمها الإجمالي في المنطقة المدروسة.

وقد فتحت الدراسات والبحوث والنتائج الناجمة عن تطبيق المعادلات والعلاقات آنفة الذكر آفاقاً جديدةً أمام علم الكارست، لأنها سمحت بإجراء المقارنات الرياضية الدقيقة الهادفة إلى تحديد أهمية النشاط الكارستي وتباياناته الملموسة بين نطاق مورفومناخي وآخر، وبين منطقة وأخرى في مختلف أنحاء الكرة الأرضية، وذلك بناءً

على درجة تفاعل مجموعة الشروط والعوامل المسؤولة عن تحديد مدى تأثير النشاط المذكور، وتشكل الدراسات المعنية قائمة طويلة جداً، سنعرض هنا أكثرها أهميةً ودقةً وفقاً لتصنيفها ضمن إطارها النطاقي.

على صعيد سرعة التحلل الكارستي في المنطقتين الاستوائية والمدارية والرطبة تطالعنا دراسات بيرو Birot 1967م وكوربل Corbel 1970م عن الكارست في كل من جامايكا وبورتوريكو وكوبا وجنوبي المكسيك، ودراسات بلاستز Balaczs 1971–1968م في جزيرتي جاوه وسومطرة.

وعلى صعيد سرعة التحليل الكارستي المتوسطي تطالعنا دراسات نيكود Nicod 1967م وموكسار Muxart 1969م في مناطق جنوبي فرنسا، ودراسات كوربل Corbel 1967م عن الكارست وسرعة تحلله في جنوبي الجزائر، وبحوث هاكينغ Haking 1978م عن الكارست في لبنان، ودراسات جيننس Jennings 1970م عن الكارست في مدغشقر.

وعلى صعيد سرعة التحلل الكارستي في نطاق العروض المعتدلة تطالعنا دراسات جيمس Gams 1965م للكارست في منطقة بوستونيا في يوغسلافيا سابقاً ودراسات كوربل Corbel 1965م عن سرعة التحلل الكارستي في سلوفينيا، وبحوث نيكود Nicod 1967م في منطقة الأقواس الفرنسية الكبرى، ودراسات حاج حسن Haj-Hassan 1982–1985م في منطقة هضاب كيرسي الفرنسية، وقدم كل من فورد Ford 1971م وشرودر Schroder 1972م دراسة مستفيضة عن سرعة التحلل الكارستي في مناطق شمال كندا، وتطالعنا دراسات سويتينك Sweting 1964–1966م عن سرعة التحلل الكارستي السائد في ظل الظروف المناخية المحيطية الرطبة عن الكارست في شمال غربي يوركشاير، وبحوث ويليامز Williams 1964م عن الكارست في منطقة كلار الأيرلندية، وأما بحوث كوربل Corbel 1959م وبولينا Pulina 1974م فقد اهتمت بسرعة التحليل الكارستي في ظل الظروف المناخية السائدة في نطاق العروض

شبه القطبية الباردة ولاسيما سرعة التحلل الكارستي في سبيتزبورغ وبحوث موكسرت Muxart 1969م عن الكارست في منطقة لابونية النرويجية، وأجرى كوربل Corbel عام 1964م بحوثاً واسعةً عن الكارست وسرعة تحلله في وولف الغرئنلندية التي تُعدّ مثالاً واضحاً ونموذجياً للكارست في المناطق القطبية.

أما سرعة التحلل الكارستي في المناطق الجبلية حول الكارست في جبال الألب في سلاسل القفقاس، فقد درستها كل من بولينا Pulina 1974م، ومير Maire 1976م، حول منطقة سافونيا العليا.

ونستخلص من خلال العرض السريع للبحوث والدراسات السابقة أن تحديد سرعة التحلل الكارستي، وقدرة مياه نبع معلولا على تحليل الصخور لم يكن هدفاً لأي بحث أو دراسة جيولوجية قبل قيامنا بالدراسة الحالية.

نبع معلولا:

يقع نبع معلولا في إقليم الجبال العالية ضمن سلاسل القلمون التي تشكل موذاييكاً جيومورفولوجياً تميزه مظاهر تضريسية شديدة التباين، ابتداءً بمشاهدة مميزة للمناطق ذوات البنى الالتوائية البسيطة، وانتهاءً بمظاهر نوعية محدّدة للبنى الأكثر تعقيداً وتشابكاً، تتحكم العوامل البنائية تحكماً شبه تامٍّ في عناصر المشهد التضريسي التي تسترعي اهتمام الاختصاصيين وتسترعي انتباههم، ابتداءً بسلسلة من الأحواض البينية الواضحة المعالم، مروراً بمشاهد كارستية حتية وأخرى معطلة لأسباب مناخية بحتة، وانتهاءً بخانق (فج) معلولا الذي تجري فيه مياه النبع على شكل مسيل، والذي يعطل رتابة الكويستا الإيوسينية المتطورة التي تتخذ هنا شكلاً نموذجياً تحوم ارتفاعاتها نحو 1850 متر فوق مستوى سطح البحر، وتقع ضمن سلسلة القلمون الأولى، وهي واحدة من ثلاث سلاسل جبلية، وتأخذ شكلاً مغزلياً يتجه محورها من الجنوب الغربي نحو الشمال الشرقي، ومقطعها العرضي غير متناظر فالسفوح الشمالية الغربية لطيفة الانحدار نسبياً والسفوح الجنوبية الشرقية شديدة الانحدار، وهذا ما يفرض على الشبكة

المائية شكلاً مميزاً، وتضاريس القلمون ذات طابع التوائي صدعي، تأثرت بقوة الضغط الأفقية والجانبية التي شكلت مظاهر تضريسية موجبة هي الكتل السنامية التي يفصل بينها تضاريس سالبة متمثلة بالأحواض البينية التي تسلكها الأودية في الغالب، كوادي عين التينة المسؤول عن نشوء كوستيا معلولا وتحرير جرف جبهتها.

أما معدل وسطي ارتفاع مُنخَفض عين التينة فإنه يحوم حولي 1250 متر. وتشكل الكسور البنائية في منطقة الدراسة ضوابط حقيقية تتمحور عليها المشاهد التضريسية الرئيسة هنا، ومنها تَوَضُّع نبع معلولا ذاته، علماً أن تضاريس المنطقة برمتها تُعدّ جزءاً رئيساً مميزاً من تضاريس القلمون كما سبق، إذ يعود تشكلها إلى حركات التوائية حدثت في النيوجين (الحقب الثالث)، إلى جانب الصدوع المختلفة التي أعطت التضريس هنا شكله النهائي.

تتألف منطقة الدراسة من توضعات جيولوجية متفاوتة البنية والتركيب، يغلب عليها الصخور الكلسية والحوارية، ومارنيات بيضاء ورمادية اللون، تتراوح سماكة الصخور الكلسية بين 20 و40 متراً، وتعود هذه التشكيلة إلى الأيوسين الأعلى والأوسط، وهي في الغالب قاسية ومقاومة لعوامل الحت، وترتكز على توضعات طبقة الأيوسين الأدنى الأقل قساوة والمؤلفة من صخور حوارية رخوة ومارنيات تظهر داخل تكويناته اندساسات من صخور المشبكات (الكونغلوميرا).

تتعرض منطقة الدراسة حالياً لنشاط تجوية حرارية مهم Thermaclastism ولا نعدم شواهد لنشاط تجمند محسوس Gélifration ممثلاً بفتات صخري ناجم عن تباينات مهمة لدرجات الحرارة فوق الصفر المئوي وتحته، شريطة تدخل الماء عاملاً وسيطاً، علماً أن المنطقة لا تزال تتعرض للتجوية الكيميائية معطية بعض المظاهر سواء على جبهة الكويستا كالأخاديد (على هيئة خدوش كارستية أسطوانية) التي يصل اتساعها إلى بضعة سنتيمترات وأطوالها قد تصل إلى بضعة أمتار سالكة خطوط الكسور، كما تنهار من جبهة الكويستا بعض الكتل الصخرية بأحجام متباينة لتتدحرج على سطح

الحدور، أما قفا الكويستا فهو محفّر بالخدوش الكارستية Lapies بأنواعها المعروفة ذات الأبعاد قليلة الأهمية.

ضمن هذه الظروف الطبوغرافية والجيولوجية تجتاز مياه نبع فج معلولا مشكلة وادياً سيلياً يرفد الضفة اليمنى لمنخفض عين التينة الذي يُعدّ في هذه الحالة مستوى أساس محلياً لهذا المسيل، وتبعد منطقة الدراسة عن مدينة دمشق نحو 63 كم في اتجاه الشمال الشرقي.

تخرج مياه النبع إلى السطح من ارتفاع 1480 متراً فوق مستوى سطح البحر، وتجري فوق الصخور الأيوسينية العائدة إلى الحقب الثالث. أما متوسط حجم الجريان السنوي لمياه نبع معلولا فيقدر بنحو 788400 ل/سنة، ويخضع جريانه وغزارته لذبذبات ولتبدلات محسوسة جداً، فقد وصل معدل صبيبه إلى 1.5 ل/الدقيقة.

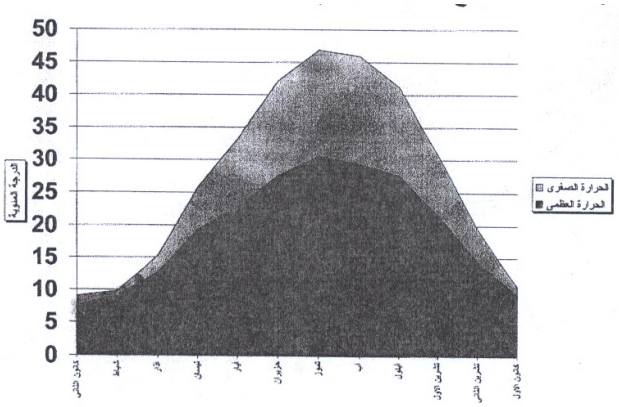
الظروف المناخية السائدة في منطقة الدراسة (نبع معلولا):

لدراسة مناخ أي منطقة مهما كبرت مساحتها لا يمكن قصر هذه الدراسة على حدود هذه المنطقة، إذ إن حركة الرياح والكتل الهوائية تحكم بفعل توزيع مناطق الضغط الجوي وارتباط بعضها ببعض على مستوى عروض كاملة.

تنتمي منطقة الدراسة (معلولا) إلى النموذج المتوسطي الجبلي والهضبي الداخلي من نماذج المناخات المتوسطية السائدة في منطقة شرقي البحر المتوسط، والنموذج شبه الجاف بحسب تصنيف أمبرجيه للبيئة المناخية.

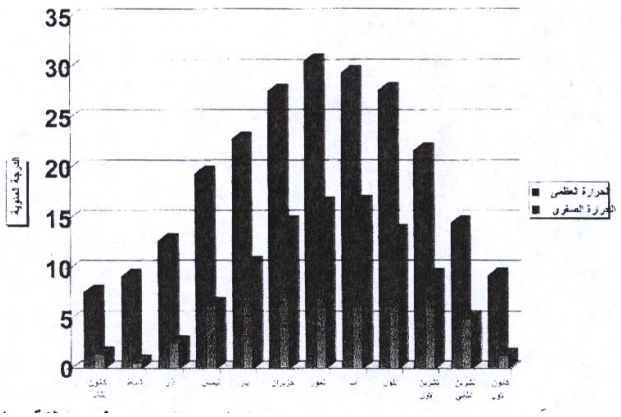
1- الحرارة:

تمتاز الظروف المناخية السائدة في منطقة الدراسة بعدم تجانسها وبتباياناتها بين قطاع وآخر، ومن خلال البيانات الخاصة بعنصر درجة الحرارة في معلولا يتبين أنها تتبع الظروف الجبلية القارية، إذ يبلغ المتوسط السنوي لدرجة الحرارة 14 ْم، أما متوسط درجة حرارة كانون الثاني فيبلغ 3.4 ْم ويرتفع إلى نحو 24.8 ْم في شهر آب، وبذلك يبلغ المدى الحراري السنوي 21.4 ْم.



شكل (2) المعدل الشهري لدرجات الحرارة العظمى والصغرى في منطقة معلولا بين عامي 1859–1987م

المصدر: عمل الباحث

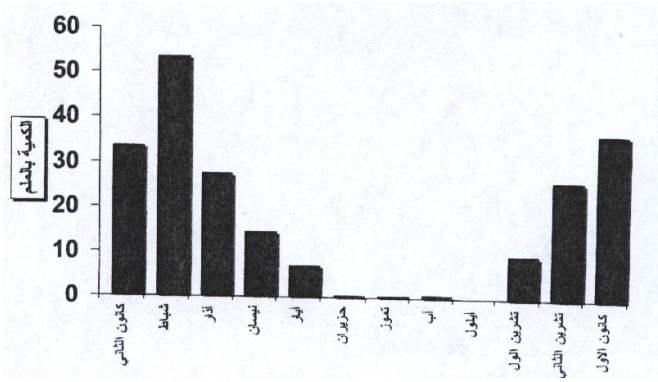


شكل (2) المعدل الشهري لدرجات الحرارة العظمى والصغرى في منطقة معلولا بين عامي 1859–1987م

المصدر: عمل الباحث

2- التهطال:

تشكل الأمطار العنصر الرئيس في منطقة الدراسة، وفي مناخ يمتد فيه الجفاف مدة تتجاوز نصف السنة، وترتفع درجات الحرارة ارتفاعاً تتجاوز فيه كميات البخر السنوي مقدار كميات الأمطار السنوية بأكثر من ثمانية أضعاف (يبلغ متوسط كمية الأمطار 218 ملم)، ويمكن أن يؤدي موقع المنطقة خلف الحواجز الجبلية دوراً بالغ الأهمية في تحديد كمية التهطال. ويغلب على أمطار المنطقة الطابع الإعصاري، وإن وجد بعض الأمطار ذات الطبيعة التصاعدية التي تسقط في أشهر الربيع والخريف، ولذلك كان التفاوت بين الكميات المتساقطة من المطر كبيراً، فالأمطار تتفاوت بين عام وآخر زيادةً أو نقصاناً عن المتوسط السنوي تفاوتاً محسوساً نظراً للعلاقة الوثيقة بمسببات الأمطار ممثلةً بالمنخفضات الجوية التي تتصف بعدم انتظام مرورها فوق البحر المتوسط في الغالب، وعدم ثبات مساراتها، كما تتصف بعدم تناسقها من حيث العمق والضحالة بين عام وآخر.



شكل (3) المعدل الشهري لكمية الأمطار في مدينة معلولا منذ عام 1959-1987م

التغيرات السنوية والشهرية لكميات الأمطار:

دلت دراسة توزيع الأمطار وتذبذبها بين عام وآخر زيادةً أو نقصاناً عن

المتوسط السنوي على سوء التوزيع عامّة، ولذلك لا بُدَّ من دراسة تفاوت الأمطار ومدى تقلبها، ولهذه الغاية تم حساب الانحراف المعياري[1] ومعاملات التغير للأمطار وحساب النسبة المئوية لمدى تفاوت كمية الأمطار السنوية.

بلغت قيمة الانحراف المعياري (69.5)، وبالنسبة إلى الانحراف المعياري إلى حدودها القصوى في فصل الأمطار، فالأشهر الأكثر مطراً هي الأكثر انحرافاً (الانحراف المعياري في كانون الثاني 25.5 وفي أيلول 3.5).

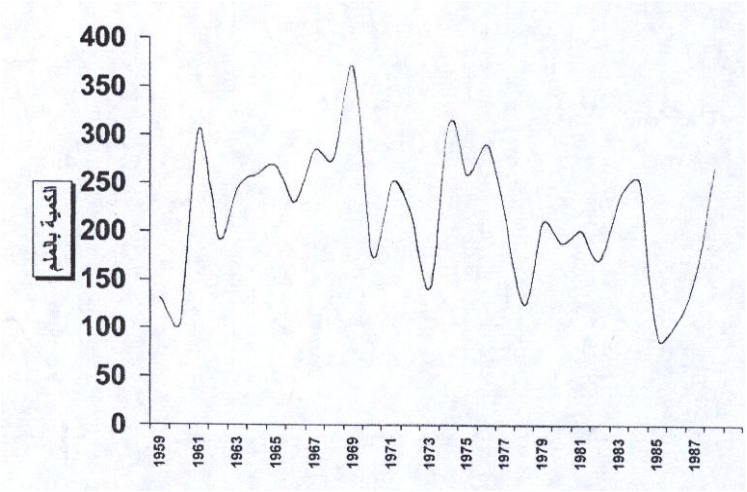
وعلى الرغم من أهمية الانحراف المعياري في تحديد درجة تغير الأمطار يجعل ارتباط قيمة الانحراف المعياري بمتوسط كمية المطر في كل منطقة على حدة من الصعب الاعتماد عليه في إجراء دراسة مقارنة بين المحطات المختلفة، ويضاف إلى ذلك أنه يعطي صورة غامضة أو غير حقيقية للمدى أو الأثر الفعلي للتغير في كميات الأمطار. ولتقدير الأثر الفعلي لتغيرات الأمطار، استخدام مقياس آخر يبين صورة التغيرات بوضوح، وتتمشى تغيراته مع اختلاف متوسط كمية الأمطار نحو الزيادة أو النقصان، والمقياس الذي يصلح لذلك هو معامل الاختلاف، ومعامل التغير المئوي[2]، وهو ناتج قسمة الانحراف المعياري على المتوسط السنوي للمطر مضروباً بالقيمة (100)، ويعبر إحصائياً عن مدى التغير في كمية المطر، ومن دراسة معاملات التغير يمكن إبراز الحقائق الآتية:

---

(1) حُسِبَ الانحراف المعياري من المعادلة الآتية: $S_d = \sqrt{\frac{\sum (X - \overline{X})^2}{n-1}}$.

S_d: الانحراف المعياري، $\sum$ مجموع، X، كمية الأمطار السنوية، $\overline{X}$: متوسط كمية الأمطار النسوية، n: عدد السنوات التي تم حساب المتوسط السنوي على أساسها. (Mathewes, J, A: 1981, P27) (صفوح خير 1978، ص260).

(2)حُسِبَ معامل الاختلاف من المعادلة الآتية: $Cv = \frac{Sd}{X} 100$.



شكل (4) المعدل السنوي لكمية الأمطار في مدينة معلولا بين عامي 1959-1987م

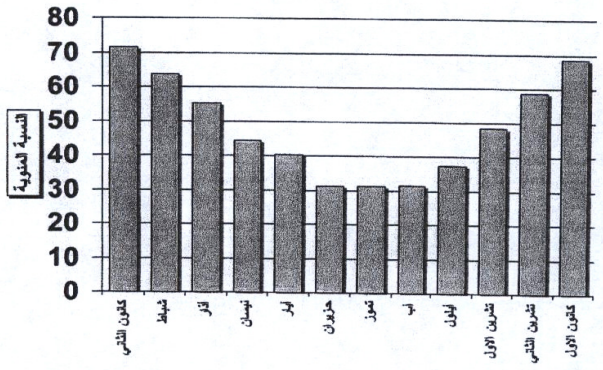
المصدر: عمل الباحث

بلغت نسبة التغير في الأمطار الشهرية (31.8%)، وأما معامل التغير الشهري فإنه يصل إلى أعلى قيمة له في الأشهر قليلة الأمطار، ويبين الجدول رقم (1) توزيع معامل التغير بحسب الأشهر والمناطق، إذ يتبين من دراسة الجدول المذكور أن معامل التغير يكون كبيراً في أشهر الخريف والربيع، ويصل إلى أدنى قيمة في أشهر الشتاء، إذ تتجاوز قيمة معامل التغير في شهر أيلول (44.8%)، وتسجل أشهر كانون الأول وكانون الثاني وشباط أدنى قيم لمعامل التغير كما يتضح من الجدول.

هذا الاستعراض السريع لمدى التغير السنوي والشهري في كميات الأمطار يؤكد أن هناك تناسباً بين متوسطات الأمطار ومعامل التغير، وهذا يؤكد أن التغيرات الشهرية والسنوية في كمية الأمطار كبيرة في منطقة الدراسة.

جدول رقم (1)

	المتوسط/مم	الانحراف المعياري/مم	معدل الاختلاف%
كانون2	45.22	35.5	78.5
شباط	33.66	22.8	68
آذار	28.6	24.2	84.6
نيسان	17.25	16.7	97
أيار	8.1	11.95	147
حزيران	–	–	–
تموز	–	–	–
آب	–	–	–
أيلول	0.87	3.5	44.8
تشرين1	13	15	115
تشرين2	26.3	23	87
كانون1	42.3	28	66
سنوي	218	69.5	31.8



شكل (5) المعدل الشهري للرطوبة في مدينة معلولا منذ عام 1959–1987م

3- البخر / النتح:

وتبعاً لمعطيات محطات الأرصاد الجوية المتعددة لمنطقة الدراسة للمدة المحصورة بين عام 1959 و1987م يصل متوسط درجة الحرارة السنوية إلى 14 ° درجة مئوية، ويصل المتوسط السنوي للتهطال إلى 218 مم، واعتماداً على المعطيات المذكورة يمكن حساب معدل البخر / النتح السنوي الفعلي، وذلك باستخدام معادلة Turc الآتية:

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

إذ:

Er: معدل البخر / النتح مقدراً بالملم / السنة.

P: معدل التهطال السنوي مقدراً بالملم.

L: معامل رياضي يساوي $L = (0.05T^3 + 25T) + 300$

حيث:

T: متوسط درجة الحرارة السنوية مقدراً بالدرجة مئوية.

ومن خلال تطبيق المعادلة المذكورة على معطيات محطات الأرصاد الجوية في منطقة الدراسة نجد أن:

$$L = (0.05T^3) + (25T) + 300$$

$$L = \left[0.05\,(13.8)^3\right] + (25 \times 13.8) + 300$$

$$= 131.4 + 3.45 + 30$$

$$L = 776.4$$

$$L^2 = 602796.96$$

$$Er = \frac{217.9}{\sqrt{0.9 + \frac{183450.01}{602796.96}}}$$

$$Er = \frac{217.9}{\sqrt{0.9 + 0.3}}$$

$$Er = \frac{217.9}{\sqrt{1.2}}$$

$$Er = \frac{217.9}{1.095}$$

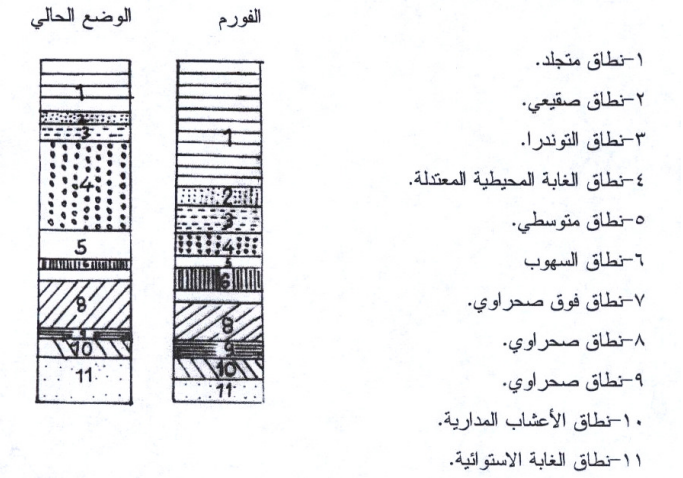
$$Er = 198.99 \qquad \text{ملم / سنوياً}$$

إن معدل البخر / النتح الفعلي لا ينطبق من الناحية العملية على الكمية المحسوبة، نظراً لتركز القسم الأعظم من التهطالات في الفصل البارد من السنة، ويقابله جفاف شبه كامل للفصل الحار منها، وبعبارة أخرى إن معظم التهطال يتسرب إلى الأعماق على قفا كويستا معلولا ليخرج عند أقدام الجرف على هيئة ينابيع قليلة الأهمية، أو ليغذي الشبكة الباطنية من دون أن يفوتنا إمكانية تشكيلها لمجارٍ سيلية مؤقتة قليلة الأهمية، وهي خارج إطار دراستنا التي يغلب عليها الطابع الكيميائي هنا، وهذا يقودنا للقول: إن ما يدخل الغلاف الغازي على هيئة بخار ماء هو قليل عملياً.

التبدلات المناخية الكبرى التي شهدتها المنطقة وآثارها الجغرافية العامة:

ومن المؤكد حالياً أن المراحل المطيرة التي شهدتها الهوامش الشمالية لشبه الجزيرة العربية وللصحراء الكبرى، إلى جانب منطقة دراستنا الحالية قد زامَنَتِ الزحوف الجليدية التي دفعت حركات الغلاف الغازي واضطراباته التي تسبب هطول الأمطار نحو الجنوب مقارنةً بموقعها الحالي، واستناداً إلى ذلك أمكن إيجاد العلاقة والرابطة بين المراحل الرطبة المذكورة والمراحل الباردة، كما أمكن إثبات الرابطة ما بين المراحل الواقعة بين المراحل الرطبة وارتفاع مستوى الأساس العام، والتي تصل إلى أعلى من مستوى الصفر الحالي، لاتفاقها مع المراحل الحارة التي سبب ارتفاع مستوى الأساس. ومنذ عصر الفيلافرانشيان Villafranchien، أمكن تحديد هوية خمسة مستويات للأساس العام دُعِيَتْ بأسماء المغربي Maghrébien والمسعودي

Massaoudien والمعرفي Maarifien والأنفاسي – الرباطي Rabatien-Anfacien والأولجي Oulgien، وتتفق المستويات المذكورة مع تشكل خمس مصاطب قارية تشكلت خلال المراحل الرطبة التي سمحت بتجدد الحت والتعمق الرأسي، وتمتاز كل مصطبة قارية منها بسحنة خاصة مميزة، وهذه المصاطب هي: المولوية Moulouyenne وتقع بين المغربية والمسعودية آنفتي الذكر، والمصطبة السالیتینیة Salétienne والأميرية Amirienne والتنسيفيتية Tensiftienne المزامنة لجليدية الريس والسلطانية Slotanieene المزامنة لجليدية الفورم Würm.



شكل (6) تزحزح النطاقات المناخية والنباتية بين جليدية الفورم والوقت الحالي، وذلك على خطوط طول أوروبة الغربية، بناءً على فرضية النطاقات الصحراوية

النطاقات المورفومناخية في الحقب الرابع:

إن تحديد هذه النطاقات مرهون بمعرفة المناخات القديمة بتفصيلاتها الدقيقة، كما أن التطور العلمي الذي شهدته جميع فروع المعرفة والعلوم الأخرى قد انعكس إيجابياً على هذه النقطة خاصة، إذ إنها تقدم معطيات مهمة عن المناخات القديمة كما هي

الحال في المعطيات التي يزودنا بها التحليل البوغي Pollinique الذي يسهم في تعيين الخطوط العامة لتوزع الغطاء النباتي القديم، ومنها يمكننا الانطلاق لتحديد الأوساط المورفومناخية المنطبقة عليها، وأول من حاول وضع مبادئ توزع المناخات القديمة هم الجيولوجيون والجيومورفولوجيون الألمان الذين وضعوا عديداً من النظريات التي تتصدى لهذه المشكلة، وأهمها نظرية بودل J.Büdel الذي يرى أن التبرد المناخي العام هو الذي أدى إلى حدوث الطغيان الجليدي، ولم يكن البرد متجانساً في النطاقات المناخية كافة، فقد كان أعظمياً في المناطق المعتدلة وأصغرياً في المناطق فوق المدارية التي مَثل التغير المناخي فيها تزايداً محسوساً لمعدلات التهطال السنوي، وهذا ما سمح باتساع الحدود التي تحتلها حشائش السافانا بعيداً عن خط الاستواء، ويرى بودل أن هذه الظاهرة رافقها تزايد محسوس لمعدلات التهطال السنوي، وهذا ما سمح باتساع الحدود التي تمثلها حشائس السافانا بعيداً عن خط الاستواء، ويرى بودل أن هذه الظاهرة رافقها تزايد محسوس لمعدلات التهطال في المناطق الصحراوية أيضاً، كما تزايدت أهمية النشاطين الجليدي والصقيعي في مناطق العروض المعتدلة، ويرى أن أهمية التبدلات المناخية الرباعية ومداها تتناقص تناقصاً محسوساً باتجاه العروض المنخفضة، وهذا ما سمح لبودل بالقول إن:

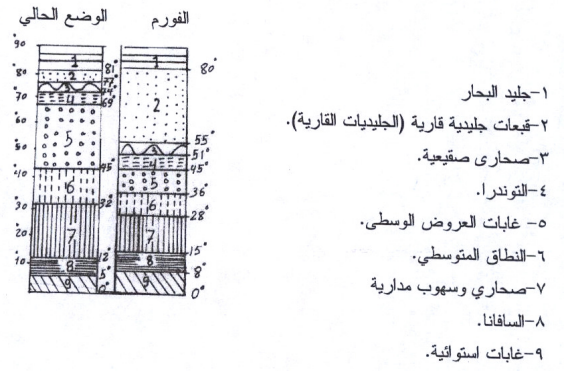
15% من مساحة الكرة الأرضية كان مغطى بالجليد الدائم.

53% من مساحة الكرة الأرضية شهدت تبدلات وذبذبات مناخية مهمة.

32% من مساحة الكرة الأرضية لم تشهد سوى تبدلات مناخية طفيفة جداً.

وبناءً على آراء بودل خضع النطاق المعتدل لنشاط صقيعي وجليدي مهم، وذلك على الرغم من امتيازه بسيادة ظروف مناخية أكثر جفافاً من الظروف الحالية، أما النطاق المتوسطي فقد شهد سيادة مناخ معتدل بارد مع ظهور نشاط صقيعي مهم في قطاعاته الجبلية وتعددت في هذا النطاق حوادث ميع التربة Solifluscion والتجمند Gélifroiction، حتى على مستوى البحر، شريطةَ توافر الصخور الملائمة، وتوضعت

الحدود العليا للغابة الباردة (غابة غنية بالسندر) على ارتفاع 500م فوق مستوى سطح البحر في جزيرة كورسيكا مقابل 1200م في جنوبي إيطالية، أما الصحاري المدارية فقد انضغطت وتقلصت المساحات التي تشغلها نتيجةً لتزايد الأجزاء التي ارتفعت معدلات تهطالاتها السنوية، وتمتعت بظروف مناخية أكثر رطوبة من الظروف الحالية، وهذا ما سمح بتعدد الأنهار والبحيرات المتشكلة هنا في تلك المرحلة، أما الصحراء الكبرى فقد تقلصت حدودها ليقتصر امتدادها على المساحة المحصورة بين درجتي العرض 20 ° و 28 ° شمالاً، في حين أن امتدادها الحالي يغطي المنطقة المحصورة بين 18 ° – 32 ° شمالاً، وأكثر التبدلات أهمية في النطاق المداري تتمثل باتساع نطاق السافانا الذي وصل حتى خط العرض 15 ° شمالاً، في حين أنه لا يتجاوز حالياً درجة العرض 12 ° شمالاً، أما الغابة الاستوائية فإنها لم تخضع لتغيرات محسوسة باستثناء اتساع طفيف جداً نحو القطبين، تراوحت قيمته بين 4 ° و5 ° فقط، ورافقه تناقصٌ طفيفٌ في معدلات التهطال، وعلى رغم ذلك لم يشهد هذا النطاق تغيرات مورفومناخية ولا تربية ولا حيوية ملحوظة. والشكل (7) يظهر النطاقات المورفومناخية في الوقت الراهن وخلال جليدية الفورم تبعاً لتصورات بودل J.Büdel.



شكل (7) النطاقات المورفومناخية خلال جليدية الفورم وحالياً كما تصورها J. Budel

سرعة التحلل الكارستي لمياه نبع معلولا:

إن سرعة التحلل الكارستي نتيجة مباشرة لذوبان صخور القاعدة المعدنية، بسبب تضافر التأثير لمجموعة من العوامل التي تتفاعل فيما بينها لتحديد مدى فاعلية النشاط الكارستي ودوره، وتتمثل هذه العوامل بمجموعتين هما:

العوامل الخارجية المتمثلة في المناخ المحيط بمنطقة الدراسة، إذ يتسارع التحلل والذوبان بارتفاع معدلات التهطال، وانخفاض درجات الحرارة، لأن تدني متوسطاتها يؤدي إلى تناقص معدلات البخر / النتح السنوي من جهة، ويرفع معدلات انحلال غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2 ضمن مياه التساقط لتكوين حمض الكربون من جهة ثانية.

$$H_2O + CO_2 \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} H_2CO_3$$

وحمض الكربون هو المسؤول عن ذوبان كربونات الكالسيوم الصعبة الذوبان، والذي تتألف منه الصخور الكلسية وتحوله إلى بيكربونات الكالسيوم أو ثاني كربونات الكالسيوم سهلة الذوبان بالماء.

$$CACO_2 + H_2CO_3 \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} CA(HCO_3)_2$$

يتزايد التحلل الكارستي مع تزايد معدلات الضغط الجزئي لغاز ثاني أوكسيد الكربون من دون النظر إلى معرفة مصدره، ويتزايد أيضاً التحلل بتزايد أهمية الغطاء النباتي الذي يوفر الأحماض العضوية القادرة على رفع قدرة المياه على حل الصخور المعنية وإذابتها، وتتدخل طبيعة الترب التي تجتازها المياه السطحية المتوغلة إلى الأعماق في تحديد أهمية النشاط الكارستي الذي تزداد سرعته مع تزايد أهمية الترب ذات الطبيعة الحمضية؛ أما العوامل الطبوغرافية وانخفاض معدلات انحداراتها، فهي المسؤولة إلى جانب درجة مسامية الصخور وتشققها، عن إتاحة الفرصة للمياه السطحية للتوغل إلى الأعماق، وترتفع بذلك سرعة التحلل والذوبان نتيجة لتزايد طول

مدة التماس بين الصخر والماء من جهة، ولارتفاع محتوى الماء من حمض الكربون نتيجة تزايد معدلات انحلال غاز ثاني أوكسيد الكربون الذي تزداد نسبته في هواء التربة من جهة ثانية، في حين أن ارتفاع معدلات انحدار السطح يجبر المياه على تشكيل جريانات سطحية سريعة لا يتاح لها فرصة التوغل إلى الأعماق، فتتناقص مدة التماس بين الماء والصخر، وتتناقص تبعاً لذلك سرعة تحلل الصخور الكارستية وذوبانها.

فإذا كان المتوسط السنوي للمحتوى الكربوناتي لمياه نبع معلولا هو 227 ملغ/ليتر من كربونات الكالسيوم، فإن سرعة التحلل الكارستي وفقاً لعلاقة كوربل Corbel عند حساب سرعة التحلل الكارستي لا بُدَّ من تحديد معدل التهطال السنوي الصافي، وتحديد المتوسط السنوي للمحتوى الكاربوناتي لمياه النبع المعني (المدروس) والذي يعادل هنا 227 ملغ، أما المعدل السنوي للتهطال فقد سبق أن حسبناه آنفاً وهو يعادل (198.99 مم).

إذ:

$$V = \frac{4Et}{100}$$

V: سرعة التحلل الكارستي مقدرة بالميليمتر / 1000 سنة.

E: معدل التهطال السنوي الصافي مقدراً بالديسميتر (دسم).

t: المتوسط السنوي للمحتوى الكربوناتي لمياه نبع معلولا مقدراً (بالملغ/ل).

$$E = P - Er$$

حيث:

P: معدل التهطال السنوي بالملم.

Er: معدل البخر / النتح.

ومنه

$$E = 217.9 - 198.99 = 27.91\ mm$$
$$E = 27.91 \div 100 = 0.28$$

وعلى هذا تكون سرعة التحلل الكارستي:

$$V = \frac{227 \times 0.28 \times 4}{100}$$
$$V = \frac{310.24}{100}$$
$$V = 3.1024$$ ملم / 1000 السنة

ومن هنا نجد أن سماكة شريحة الصخر الكلسي التي يزيلها النشاط الكارستي بالتحليل والذوبان هنا لا تزيد على 3.1024 مم كل 1000 سنة، وهي قيمة متواضعة جداً مقارنةً بمثيلاتها في المناطق الكارستية المعروفة في العالم، كما هي الحال في منطقة فيركوز شمالي فرنسا مثلاً ذات التهطالات الثلجية المهمة، والتي تصل سرعة التحلل الكارستي فيها إلى 240 مم / 1000 سنة J.Gorbel 1957م.

إن سرعة التحلل من خلال النتائج التي حصلنا عليها في دراستنا الحالية ليست كافية البتة لتفسير نشوء الظواهر الكارستية في منطقة الدراسة، وعلى هذا يمكن التأكيد أن هذه الظاهرات وتطورها يرجع من دون أدنى شك إلى مراحل كانت معدلات التهطال فيها أكثر أهمية من المعدلات الحالية من جهة، وربما كانت التهطالات الثلجية وقتها أكثر أهمية من مثيلاتها الحالية، كما سبق أن أشرنا في مطلع البحث عند التعرض لقضية زحزحة النطاقات المورفومناخية.

الخصائص الهيدروكيميائية لمياه نبع معلولا وقدرتها على متابعة النشاط الكارستي:

إن الهدف الرئيسي للدراسة الهيدروكيميائية لمياه نبع معلولا الكارستي تتمثل في

تحديد خصائصها النوعية، وفي تقدير مدى فعاليتها، اعتماداً على الحساب الدقيق لقيمتي حموضة التوازن أو بهاء التوازن PH d'éguilibre وثاني أكسيد كربون التوازن CO_2 équilbrant. ومن ثم تقارن النتائج المذكورة بنتائج التحليل المخبري الفعلي الذي خضعت له المياه المدروسة، ويمكننا تحديد أهمية هذه المقارنة في كونها تمثل المؤشر العلمي الوحيد الذي يُمكِّن من تحديد نوع المياه المدروسة، من حيث كونها عدوانية Aggressive قادرة على متابعة نشاطها الكارستي وإذابة كميات إضافية من كربونات الكالسيوم والمغنــزيوم، أو أنها مشبعة بالكربونات Incrustants، عندئذٍ تكون مضطرة إلى التخلي عن جزء من حمولتها الذائبة من العناصر الكربونية لحظة وصولها إلى السطح بهدف إطلاق كمية محددة من غاز ثاني أكسيد الكربون، أو أنها متوازنة تماماً لا تذيب ولا ترسب عناصر كربونية.

أما معرفة حموضة التوازن أو بهاء التوازن وثاني أكسيد كربون التوازن فإنها تتم بالحساب أو التحديد الرياضي الدقيق لقيمتي حموضة الماء المدروس وكمية غاز ثاني أكسيد الكربون اللذين يجب وجودهما في الماء المدروس لحظة إجراء الدراسة المخبرية، وذلك ليكون الماء ذاته في حالة توازن تام أو اعتدال تام، بين محتواه الكربوناتي (كربونات الكالسيوم والمغنــزيوم) ومحتواه الكربوني (حمض الكربون) Calco-carbonique.

ويمكننا توضيح الطريقة الرياضية التي اتبعت في دراستنا الحالية، من خلال مثال (العمل الرياضي الكيميائي) الذي طبقناه على نتائج التحليل المخبري لعينات مياه نبع معلولا، والعينة المأخوذة في المثال الحالي هي عينة المياه التي درست مخبرياً عام (2005م) والتي كان محتواها من الشوارد المختلفة على الشكل الآتي:

Ca^{++} الكالسيوم = 3.99 ملليغرامي (مكافئ، أو ما يعادل ملغ).

Mg^{++} المغنــزيوم = 1.81 ملليغرامي (مكافئ، أو ما يعادل ملغ).

Na^{+} الصوديوم = 0.65 ملليغرامي (مكافئ، أو ما يعادل ملغ).

K^+ البوتاسيوم = 0.1 ملليغرامي (مكافئ، أو ما يعادل ملغ).

HCO_3 ثاني فحمات = 5.61 ملليغرامي (مكافئ، أو ما يعادل ملغ).

S^-o^- الكبريتات = 0.25 ملليغرامي (مكافئ، أو ما يعادل ملغ).

CL^- الكورور = 0.51 ملليغرامي (مكافئ، أو ما يعادل ملغ).

Na_3^- النترات = 0.15 ملليغرامي (مكافئ، أو ما يعادل ملغ).

وبناءً على هذا فإن القوة الشاردية لمياه نبع معلولا في تلك السنة =

القوة الشاردية =

$$(3.99\times10^{-3})+(1.81\times10^{-3})+(0.33\times10^{-3})+(2.81\times10^{-3})+$$
$$(0.25\times10^{-3})+(0.26\times10^{-3})+(0.08\times10^{-3})=9.53\times10^{-3}$$

ونظراً لأنَّ درجة حرارة مياه النبع لحظة خروجها إلى السطح مئوية نجد في جدول باردي أن قيمة:

$A_1 = 6.36$ في حين $B_1 = -3.99$

وبحساب كل من CO_2 توازن مياه النبع وPH التوازن لدينا:

لغ HCO_3^- = 3.75 ← تما لغ HCO_3^- = 2.25

لغ Ca^{++} = 3.3 ← تما لغ Ca^{++} = 2.7

لغ CO_2 الحر (أي المقيس حقلياً أو ميدانياً)

$= (44 \div 14) \times 10^{-3} = 0.32 \times 10^{-3}$

لغ CO_2 = 4.5 ← تما لغ CO_2 الحر = 3.5

تما لغ H_2CO_3 التوازن = B_1 + 2 تما لغ HCO_3^- + تما لغ Ca^{++}

$= -2.99 + (2.25 \times 2) + 2.7$

$$= -2.7 + 4.5 + 3.99$$

$$= 3.21$$

ومنه فإن H_2CO_3 التوازن $= 6.17 \times 10^{-3} \rightarrow \underline{4.79} = H_2CO_3$

CO_2 التوازن $= 0.617 \times 10^{-3} \rightarrow = 0.617 \times 44 = 27.15$ ملغ/ل

ونظراً لأنَّ المحتوى الفعلي للمياه المدروسة لحظة خروجها إلى السطح تعادل 14 ملغ/ل فإن مياه النبع بعيدةٌ جداً عن التوازن.

PH توازن مياه النبع $= A_1 -$ تما لغ HCO_3^- + تما لغ H_2CO_3 التوازن

$$= 3.21 + 2.25 - 6.36$$

$$= 7.32$$

ونظراً لأنَّ قيمة PH مياه النبع المدروس ميدانياً: كانت 7.6 تبين القيمة المحسوبة أن مياه النبع بعيدة عن التوازن من حيث قيمة PH أيضاً.

هناك عدم تطابق بين قيمتي CO_2 وPH المَقيستين حقلياً وهما 14 ملغ/ل و7.6، وذلك لأن قيم التوازن تتناقض نسبياً، فقد وُجِدَ أن CO_2 التوازن هو 27.15 ملغ/ل وقيمة PH التوازن 7.32 وهذا مفسر عملياً، لأن ارتفاع المحتوى من CO_2 يجب أن يزيد حموضة الماء، وبذلك يخفض قيمة PH الماء حتماً.

هذا ويمكننا حساب قيمة PH التوازن باستخدام العلاقات الآتية أيضاً:

PH التوازن $= A_1 - B_1 +$ تما لغ HCO_3^- + تما لغ CA^{++}

ومنه:

$$\text{PH التوازن} = 2.7 + 2.25 + 3.99 - 6.36$$

$$= 7.32$$

وبالنظر إلى PH نجد أن:

القيمة المحسوبة تعادل 7.32، فالفارق بين القيمتين تعادل 0.28، وهذا يؤكد معطيات المرحلة الأولى (أي عدم التطابق بين المحتوى الفعلي من CO_2 والمحتوى النظري الذي دعوناه بقيمة CO_2 التوازن)، وما يمكن استنتاجه هنا أن مياه النبع يوم دراسة العينة كانت مشبعة بالعناصر الكربونية، ولذلك كانت مجبرة على التخلي عن جزء من هذه الحمولة كي تتحرر كمية معادلة ومحددة من CO_2 للاقتراب من التوازن، وهذا يؤدي (أي في حالة ترسيب الكربونات) إلى انخفاض قيمة PH من القيمة المحسوبة والتي تعادل 27.15 ملغ/ل، وفي حالة مياه النبع نقول بعبارة مختصرة: إنها عاجزة عن متابعة أي نشاط تحلل كارستي بعد خروجها إلى السطح، ولكنها قريبة من التوازن نسبياً وصالحة لاستخدام البشر لها شريطة خلوها من العناصر الممرضة (جراثيم وبكتريا ممرضة).

هذا ويمكننا تحديد درجة الحرارة التي تصبح عندها مياه النبع متوازنةً تماماً بمحتواها الشاردي آنف الذكر، أي يمكننا تحديد درجة الحرارة التي تصبح معها أو تصبح عندها قيمة CO_2 الحر (أي المقيس ميدانياً) معادلة تماماً، أو هي قيمة CO_2 التوازن، وهناك تطابق مطلق بين القيمتين، ولتحديد ذلك كله لدينا:

لغ CO_2 = $\underline{4.5}$ ← تما لغ CO_2 الحر = 3.5

وبالعودة إلى علاقة تما لغ H_2CO_3 التوازن الحر:

Ca^{++} + تما لغ $(HCO_3^-$ تما لغ 2) + B_1 = 3.5

$2.7 + (\underline{2.15} \times 2) + B_{\underline{1}} = 3.5$

$2.7 + 4.5 + B_1 = 3.5$

$7.2 + B_1 = 3.5$

ومنه $B_1 = -3.7$

وبالبحث في جدول باردي نجد $B_1 = 3.7$ لسائل قوته الشاردية 9.35 ×

عند درجة حرارة تحوم حول الصفر، وعندئذٍ تكون قيمة A_1 = 6.54 وتصبح قيمة PH التوازن = A_1 + تما لغ HCO_3^- + تما لغ H_2CO_3 التوازن

= 3.21 + 2.25 − 6.54

= 7.5

هذا ويمكننا حساب مدى التطابق بين قيمتي CO_2 الحر وPH المَقيسين حقلياً باستخدام العلاقة الآتية:

PH = A_1 − تما لغ HCO_3^- التوازن + تما لغ H_2CO_3 الحر

= 3.5 + 2.25 − 6.36

= 7.61

وعلى هذا يكون التطابق بين القيمتين تاماً، حيث قيمة PH المقيسة ميدانياً 7.6 مقابل 7.61 للقيمة المحسوبة.

المراجع

- حاج حسن، محمد فائد (1995): أسس الجيومورفولوجيا المناخية، منشورات جامعة دمشق.
- طربوش، أمين – شعال، فاتنة (1994): أسس الجيولوجيا العامة، منشورات جامعة دمشق.
- عبد السلام، عادل (1973): سورية العامة، منشورات جامعة دمشق.
- فواز، موسى (2000): الخصائص المناخية للحرارة والأمطار في منطقة شرقي البحر المتوسط، دكتوراه غير منشورة، جامعة عين شمس.
- Bardy J., Pere c., (1978): Methodes Simmplifiesa l'aide d'aide d'abaques du calcul de 'lagressivite des eaux, Applicalionsa l'étude de leurs Traitements. La tribune du Cebdeau, Vol. 32 (412), PP. 113-126.
- Haj-Hassan M. F., (1986): - Recherches Geomorphologiques le karst des Causses de Mastel et de Cramat Universite de Bordaux III, Lab de geogr. Phys. Appliquce. Fance.
- Haj-Hassan M.F., (1984): Les Formes Superficielles du kast des Causses de Martel et de Gramat Université de Bordeaux III. Lab. De geogr. Phys. Appliquée, France.
- Trombe F. Les eaux Souterraines, (1977): Que-sais-je ? P.U.F˙.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2006/6/25.