رقم الترتيب: .....

رقم التسلسل:.....

جـــامعة قـــاصـــدي مـــربـــاح ورقـــلـــة

كليـــة الرياضيـــات وعلـــوم المـــادة

قسم الفيـــزياء

مـذكـــرة مـاستـــر اكـاديمـــي

ميـــدان: علـــوم المـــادة

فـــرع: فيـــزياء

التخصص: فيزياء الأرصاد الجوية

من اعـــداد الطـــالبتين: إسماعيلية سمراء & أو قيصي مليكة أمينة

بعنـــوان:

التنبؤ بتغيرات الرياح السطحية في منطقة ورقلة باستخدام خوارزميات التعلم الآلي

نوقشت يوم: ..09../2022/06

امـــام لجنـــة المناقشـــة المكونـــة من الأساتـــذة:

فقيه عبد العالي	أستاذ محاضر ب	جامعة قاصدي مرباح	رئيسا
ناقص محمد الطاهر	أستاذ محاضر ب	جامعة قاصدي مرباح	مناقشا
بن طويلة عمر	أستاذ محاضر أ	جامعة قاصدي مرباح	مؤطرا
بن هجيرة عبد الرحمان	طالب دكتوراه	جامعة قاصدي مرباح	مساعد مؤطر

السنة الجـــامعية: 2022/2021

بسم الله الرحمان الرحيم

نبدأ هذا العمل لوجه الله سبحانه وتعالى ولخدمة العلم والحمد لله الذي مكن لهذا الإنسان سبل النجاح وعلمه من علمه ما يشاء

والصلاة والسلام على خير خلق الله محمد صلى الله عليه وسلم

إهـــــداء

لا يطيق الليل إلا بشكره ولا يطيب الليل إلا بطاعته و لا تطيب اللحظات إلا بذكره و لا تطيب الآخرة إلا بعفوه سبحانه جل علاه والى من بلغ الرسالة وادي الأمانة إلى نبي الرحمة ونور العالم محمد عليه أفضل الصلاة وأزكي التسليم

اهدي ثمرة جهدي إلى جنة الله في الأرض التي احترقت لكي تنير لي دربي ... إلى التي جاعت لأشبع وسهرت لأنام وتعبت لارتاح ... إلى من أنارت دربي بالصلاة والدعاء ... إلى قرة عيني وفؤادي إلى اغلي الناس على قلبي

أمي الغالية

إلى من هم ملاذي إذا جار الزمن إلى إخواني وأخواتي

إلى صديقاتي دربي ورفيقاتي مشواري الدراسي وئام الخنساء حبيبة رميصاء والى من سرنا سويا في طريق النجاح والإبداع صديقتي الغالية وزميلتي في العمل سمراء والتي لها فضل كبير علي اسأل الله أن يحفظهن من كل شر وسوء وان يوفقهن في حياتهن المستقبلية ....

وأتقدم بشكري إلى كل الأصدقاء والأحباب دون استثناء والى كل الأقارب من بعيد أو قريب والى كل من رافقني في مسيرتي الدراسية والجامعية

إلى أساتذتي الكرام والأفاضل الذين ساعدونا في إتمام هذه المذكرة .

أوقيصي مليكة أمينة

إهـــــداء

الحمد لله الذي وفقنا لهذا ولم نكن لنصل إليه لولا فضله عز وجل أما بعد:

أهدي ثمرة جهدي إلى كل من أضاء بعلمه عقل غيره، وهدى بالجواب الصحيح حيرة سائله، فأظهر بسماحته تواضع العلماء وبرحابته سماح العارفين .

أهدي هذا العمل المتواضع إلى من قال فيهما عز وجل

(وقل ربي ارحمهما كما ربياني صغيرا)

إلى أبي وأمي أنحني أمامكما عرفانا بالجميل يا من علمتموني سر الإنسان الأصيل، يا من زرع أصفى ما في نفسي وهذبتني فأحسنت تهذيبي وأدبي ...يا أبي

إلى الينبوع الذي لا يمل العطاء، إلى من حاكت سعادتي بخيوط منسوجة من قلبها، إلى من عبدت لي طريق النجاح بدعواتها...

أمي غاليتي أطال الله في عمرك

إلى من أظهرو لي ما هو أجمل في الحياة "إخوتـــي" كل بإسمه أسأل الله

أن ينير دربكم في كل خير،وأدعو لأختي أشواق التوفيق في شهادة البكالوريا

إلى رفيقة دربي "صديقتي مليكة " لكي مني كل عبارات الحب والإخلاص

أعدك أن أنحت ذكرياتك على جدران دربي، ولن أطفئ الشمعة التي أضاءت حياتنا يا مؤنستي الغالية .

إلى توأم روحي "زين" أنت رجلا مخلصا وشيئا جميلا في حياتي، فبحق الرجولة والأمان والحب المطلق شكرا لله لوجودك يا حبيبي.

وفي الأخير أرجو من الله تعالى أن يجعل عملي هذا نفعا يستفيد منه جميع الطلبة المقبلين على التخرج.

إسماعيلية سمراء

شكر و تقدير

الشكر والتقدير أولا لله عز وجل

نتقدم بالشكر والتقدير والعرفان لكل من مد لنا يد العون وساعدنا في انجاز هذا العمل المتواضع

ونخص بالذكر مشرفنا الدكتور الفاضل "بن طويلة عمر "

ومساعده الدكتور "بن هجيرة عبد الرحمان "

على كل ما بذلوه من جهد خلال إشرافهم على هذه الدراسة من خلال تقديم المعلومات القيمة والنصائح الثمينة

كما نتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان لدكتورين "هبال بلخير" و " فقيه عبد العالي " على ما تفضلا به علينا من حسن إرشادات وتوجيهات قيمة والتي كانت عونا لنا في إتمام هذا العمل

كما نشكر أعضاء لجنة المناقشة الأستاذ " ناقص محمد الطاهر" و الأستاذ " فقيه عبد العالي" على قبولهم مراجعة هذا العمل

جزاكم الله كل خير وأثابكم الرزق و دوام العافية

نسأل الله العلي القدير أن يوفق الجميع إلى ما فيه خير.

فهرس المحتويات

المحتوى	الفهرس
الإهداء	I.
الشكر والعرفان	II.
الفهرس	III.
قائمة الإشكال	IV.
قائمة الاختصارات	V.
المقدمة العامة	1
الفصل الأول : التنبؤات الطقسية	
I. 1- المقدمة	5
I-2 تعريف التنبؤات الطقسية	5
I-3 التنبؤات الطقسية عبر التاريخ	5
I-4 الخرائط الطقسية	9
I-5 مكونات نظام التنبؤ الطقسي	14
I-6 الآثار الاقتصادية والاجتماعية للتغيرات المناخية	15
الفصل الثاني : النماذج الطقسية	
II.1 المقدمة	17
II-2 تعريف النماذج الطقسية	17
II-3 أنواع النماذج الطقسية	18
II-3-1 نموذج GFS (الأمريكي)	19
II -3-2 نموذج ECMWF -CEPMMT (الأوروبي)	20
III-3-3 النموذج WRF (الأمريكي)	21
II-3-4 نموذج ARPEGE (العالم)	21
II-3-5 نموذج AROME (الفرنسي)	21
II-3-6 نموذج CFS (الأمريكي)	22
II-4 النماذج الديناميكية	23
II-4-1 خطوات النمذجة الديناميكية	25
II-5 النماذج الإحصائية	26
II-5-1 مراحل التنبؤ الإحصائي	27
II-5-2 أهمية التنبؤ الإحصائي	27
II-5-3 النماذج الإحصائية للسلاسل الزمنية	27
II-6 مخطط التنبؤ بالطقس	28

الفصل الثالث: الرياح وطرق قياسها	
III. 1 المقدمة	29
III-2 تعريف الرياح السطحية	29
III-3 أنواع الرياح	29
III-3-1 الرياح الدائمة	29
III-3-1- أ الرياح التجارية	30
III-3-1- ب الرياح العكسية / الغربية	30
III-3-1- ج الرياح القطبية	30
III-3 -2 الرياح الموسمية	30
III-3-3 الرياح المحلية	31
III-3-4 الرياح اليومية	31
III-4 القوى المؤثرة في الرياح	33
III-4-1 قوى تحذر الضغط الجوي	33
III-4-2 قوة كوريو ليس	33
III-4-3 قوى الاحتكاك	34
III-5 خصائص الرياح في الطبقة السطحية	34
III-6 تمثيل الرياح في خرائط الرصد الجوي	36
III-7 أجهزة قياس الرياح	38
الفصل الربع : التنبؤ بتغير الرياح السطحية في منطقة ورقلة باستخدام خوارزميات التعلم الآلي	
IV. 1 المقدمة	41
IV-1-1 نموذج ARIMA	41
IV-1-2 تعريف Régression	42
IV-2 التعرف على منطقة الدراسة	42
IV-3 دراسة وتحليل المعطيات	44
IV-4 النموذج	46
IV-5 النتائج	48
الخاتمة	50
المراجع	

قائمـــــة الأشكال

الرقم	العنوان	الصفحة
	الفصـــــل الأول	
I– 1	مراكز الضغط العالي والمنخفض	9
I- 2	خطوط إيزوبار	10
I- 3	ميزات الطقس	10
I- 4	نموذج لمحطة أرضية	11
I- 5	رموز الطقس	11
I- 6	رموز السحب	12
I- 7	رموز غطاء السمـــاء	12
I– 8	رموز إتجاه وسرعة الرياح	13
I- 9	رموز هطول الأمطـــار	13
	الفصل الثـــاني	
II- 1	النموذج الشامل GFS	19
II- 2	نموذج ECMWF	19
II- 3	نموذج WRF	20
II- 4	نموذج ARPEGE	21
II- 5	نموذج AROME	22
II- 6	مخطط التنبؤ بالطقس	28
	الفصل الثـــالث	
III- 1	جهة الرياح من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض	32
III- 2	رموز سرعة واتجاهات الرياح في خرائط الطقس	37
III- 3	حالة جهة الرياح	37
III- 4	سرعة وإتجاه الرياح	38

III- 5	تمثيل سرعة الرياح في خرائط الرصد الجوي	38
III- 6	جهاز دوران الرياح	38
III- 7	جهاز قياس سرعة الرياح	39
III- 8	جهاز الأنيمومتر	93
III- 9	صورة لمؤشر إتجاه الرياح	40
III- 10	البالونات الإرشادية	40
	الفصل الرابـــــع	
IV- 1	حدود ولاية ورقلة	43
IV- 2	رسم البيانات كسلسلة زمنية مع الزمن	44
IV– 3	توزيع كثافة قيم سرعة الرياح	45
IV– 4	منحنى الترابط الذاتي	46
IV– 5	بيان يوضح القيم المتوقعة مقارنة بالتنبؤات	49

قائمـــــة الجداول :

الرقم	العنوان	الصفحة
	الفصل الرابـــــع	
IV- 1	ملخص حول البيانـات	44
IV– 2	جدول لبعض القيم المتنبئ بها باستعمال ARIMA والقيم المقاسة	48

قائمـــــة الرمــوز :

الرمز	إسم الرمز
u	سرعة الرياح المحلية
v	سرعة الرياح الجنوبية
w	سرعة الرياح العمودية
ϕ	العرض الجغرافي
Cp	الحرارة النوعية في الضغط الثابت
P	الضغط
Ω	الدوران الزاوي للأرض $\Omega = \frac{2\pi}{24}$
m	المساهمة الكتلية في بخار الماء
T	درجة الحرارة
W	ماء (على صورة مطر أو ثلج)
F	قوة الاحتكاك

قائمـــة الاختصارات:

الاختصار	إسم الاختصار
AR	الانحدار الذاتي Auto-Regressive
MA	المتوسط المتحرك Moyenne Averag mobile
VAR	شعاع الانحدار الذاتي
RMSE	الخطأ النسبي

مقدمة عامة

المقدمة العـــامة

يتعرض العالم إلى أمطار غزيرة وأعاصير ودرجات حرارة فائقة الشدة وكوارث طبيعية أخرى منذ العصور القديمة، مما دعا الإنسان إلى بذل جهود مختلفة لتطوير التكنولوجيا المطلوبة للتنبؤ بالجو.

من جهة أخرى، هناك إجماع عالمي على إمكانية استغلال هذه الظواهر الطبيعية واستخدامها كمصادر طاقة بديلة للوقود الأحفوري، فمثلا تستغل مياه الأمطار من خلال السدود لإنتاج الطاقة الكهربائية، كما تستغل أشعة الشمس من أجل التطبيقات الحرارية والكهربائية، أما طاقة الرياح فأصبح بالإمكان استغلالها في توليد الكهرباء من خلال تدوير توربينات الرياح.

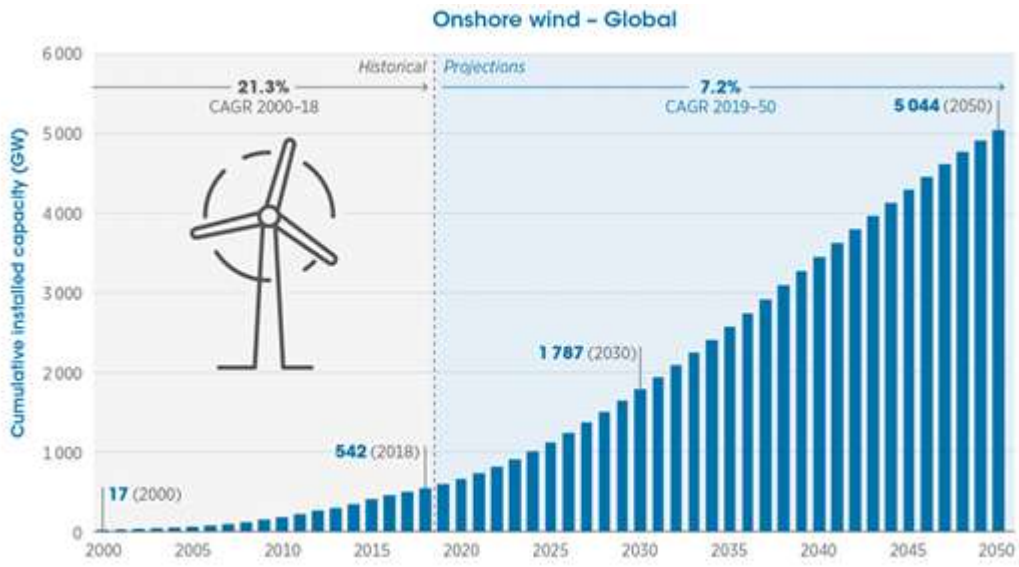
هذا الإجماع العالمي يؤكد على أن هناك حاجة لمصادر طاقة موثوقة وصديقة للبيئة لمواكبة الطلب المتزايد على الطاقة، حيث يتزايد استهلاك الطاقة بمعدل أسرع من ذي قبل بسبب النمو السكاني السريع، والتطور التكنولوجي، والتحضّر، وعوامل أخرى.

هذا التحول الطاقوي هو نتيجة لتأثير تغير المناخ في اقتصادات العالم، وقد تم دفعه بقوة من قبل المنظمات والاتفاقيات الدولية مثل اتفاقية باريس للمناخ في عام 2015 [1] التي نجحت لأول مرة في الحصول على اتفاق عالمي بشأن المناخ.هذا التحول له العديد من التحديات، والتي من ضمنها التعامل مع التوقف المؤقت (التقطع) للمصادر المتجددة المرتبط بطبيعة الظواهر الطبيعية التي تنتجها (الشمس والرياح وما إلى ذلك) حيث تظهر وتختفي اعتمادًا على الطقس، ودورات النهار والليل،ومنظومة درجات الحرارة والسحب والرطوبة.للتعامل مع هذا التقطع، يلزم تطوير استراتيجيات التنبؤ التي ستسمح بفهم الأنماط المستقبلية لتوليد الطاقة [2].

من بين مصادر الطاقة المتجددة، تعد طاقة الرياح واحدة من أهم مصادر الطاقة وأكثرها فائدة. طاقة الرياح لديها القدرة على إنتاج الطاقة لكل ساعة من اليوم وهي مناسبة للأنظمة التي تتطلب طاقة مستمرة، كما يمكن التنبؤ بالتقلبات الموسمية للرياح، بالإضافة إلى

أنّ طاقة الرياح هي مصدر طاقة مستدامة، كما يمكن بناء توربينات الرياح في المزارع بدون خسارة المساحات الزراعية[3].تهدف طاقة الرياح إلى توفير 14% إلى 18% من الكهرباء التي سيتم استهلاكها في أوروبا [4].

الشكل 1 يبيّن التوقعات لتطور طاقة الرياح البرية في جميع أنحاء العالم إلى غاية 2050

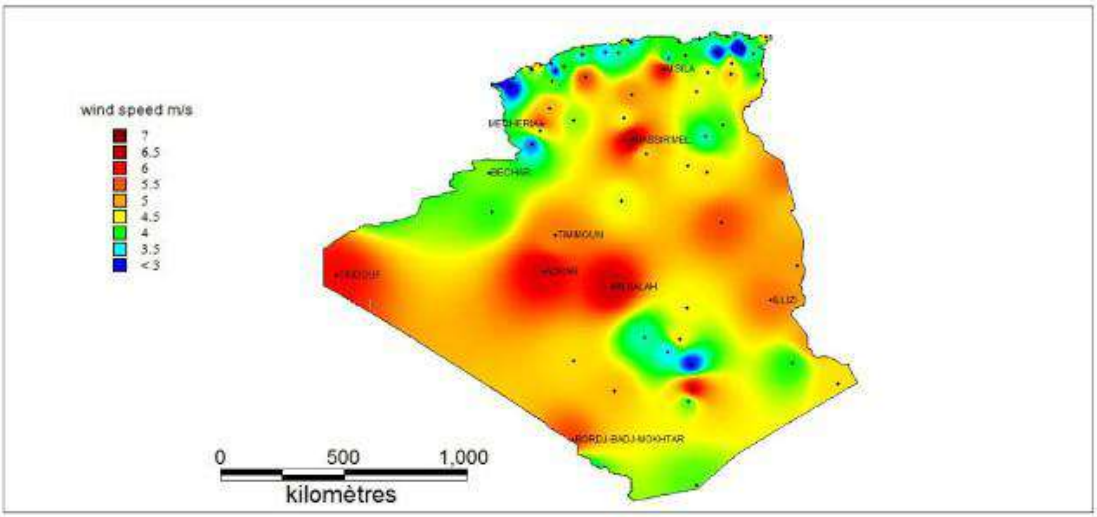


الشكل 1:التوقعات إلى غاية عام 2050 لتطور القدرات التراكمية لطاقة الرياح البرية في جميع أنحاء العالم[5].

إن الجزائر باعتبارها أكبر دولة مساحة في القارة الإفريقية تحتوي على تركيبة متنوعة من حيث الطبيعة والمناخ، وبالتالي فهي تمتلك فرصة أكبر لاستغلال الطاقات المتجددة، كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

بالنسبة لطاقة الرياح، وحسب الأطلس الجديد للرياح[6]الذي نشره مركز تنمية الطاقات المتجددة والذي أنجز بقاعدة بيانات لسرعة الرياح لكل ساعة ولكل ثلاثة ساعات مسجلة لمدة 10 سنوات متتالية من 2004 إلى 2014 في 74 محطة لحالة الطقس للمرصد الوطني للأحوال الجوية و21 محطة إضافية لبلدان الجوار(شكل2)، فإنّ سرعة الرياح على ارتفاع 10 متر من الأرض تكون في المناطق الجنوبية أعلى منها في المناطق

الشمالية (عين صالح: 6,4m/s، أدرار: 6,3m/s، إليزي: 5m/S) مما يعني تمركز مصادر طاقة الرياح في منطقة الجنوب.



الشكل 2: أطلس رياح الجزائر على ارتفاع 10م من الأرض[6]

في الوقت الحالي يقوم خبراء الأرصاد الجوية بإتخاذ قرارات شاملة عن طريق جمع أنواع متعددة من البيانات التي تم رصدها وإصدار تنبؤات رقمية بإستخدام الحواسب العملاقة أو غيرها من الأجهزة الأخرى ،وبناءا على هذه البيانات التي تتضمن هطول الأمطار وإتجاه وسرعة الرياح ودرجة الحرارة والرطوبة وغيرها من التفاصيل يقوم خبراء الأرصاد الجوية بتقديم تقارير عن الطقس وإصدار التحذيرات وغيرها من المعلومات الأخرى .

هناك العديد من الدراسات حول التنبؤ بطاقة الرياح باستخدام طرق مختلفة. تستخدم الدراسات الأولية حول التنبؤ بطاقة الرياح أساليب احصائية، لكن بعض الدراسات الحديثة تفضل استخدام خوارزميات التعلم الآلي. تتمثل الأسباب الرئيسية لاستخدام خوارزميات التعلم الآلي في أن هذه الخوارزميات يمكن أن تتكيف مع الاتجاهات المتغيرة داخل مجموعات البيانات وإنتاج نماذج تستند إلى بيانات الإدخال بدلاً من استخدام نموذج معمم. تركز العديد من الدراسات على التنبؤ قصير المدى لطاقة الرياح نظرًا لبساطتها ودقتها

العالية. ومع ذلك، هناك عدد محدود من الدراسات حول التنبؤات طويلة الأجل لطاقة الرياح [3].

في هذا العمل سنستخدم خوارزميات تعلم الآلة من أجل توقع سرعة الرياح السطحية لمنطقة ورقلة الواقعة في الجنوب الشرقي للجزائر.من أجل هذا، قسمت المذكرة إلى أربعة فصول:

- **في الفصل الأول:**سنتطرق إلى دراسة تفصيلية عن التنبؤات الطقسية وآثارها الاقتصادية والاجتماعية، وسنتعرف على تاريخ ومكونات نظام التنبؤ الطقسي.
- **في الفصل الثاني:** سنتعرف على نماذج التنبؤات الطقسية وعلى أنواع هذه النماذج الديناميكية والإحصائية.
- **في الفصل الثالث:**سنوفر معلومات عن الرياح وحركتها وخصائصها وأجهزة قياسها.
- **أما في الفصل الرابع:** سنقوم بدراسة تطبيقية باستخدام نموذج ARIMA ونحلل النتائج المتوصل إليها ونرى ما مدى دقة هذا النموذج.

الفصل الأول:

I-التنبؤات الطقسية وآثارها الإقتصــادية والإجتمــاعية

I -1 مقدمة

يعتبر علم التنبؤ الجوي أحد العلوم الموسعة في دراسة الغلاف الجوي والتنبؤ بالطقس ودراسة المتغيرات الجوية وتحليلها للوصول إلى نتائج على شكل ملخصات لحالة الطقس.

وتعتبر التنبؤات الطقسية واحدة من المهام العلمية الأكثر تحديا وأهمية التي تقوم بها خدمات الأرصاد الجوية في جميع أنحاء العالم ، فكلما كانت المعلومات حول خصائص الظاهرة الجوية والعوامل المرتبطة بها أكثر تفصيلا كلما كان ذلك أقوى في تقديم التنبؤ حولها . [7]

I-2 تعريف التنبؤات الطقسية :

التنبؤ بالطقس أو بمعنى آخر توقع حالة الطقس هو مزيج نموذجي من العلم والتكنولوجيا للتنبؤ بالظروف الجوية والبيئية في وقت لاحق بالنسبة لمنطقة معينة، ويتم ذلك من خلال دراسة معمقة لسلوك المتغيرات الجوية من حرارة ورطوبة ورياح وغيرها ، وبجمع البيانات الكمية للغلاف الجوي لموقع معين ولفترة زمنية معينة تمتد من ساعات إلى أيام ومعالجة هذه البيانات من خلال تقنيات علمية مختلفة للتنبؤ بتغير الغلاف الجوي ، ويبنى هذا التنبؤ على الاحتمالات فهو ليس حتمي .

استخدمت فيه العديد من التقنيات صنفت إلى تقنيات قديمة وأخرى حديثة هدفها الوصول إلى البيانات بصفة أسرع وأكثر شمولا ، ومع ذلك وعلى الرغم من زيادة دقة البيانات بشكل كبير إلى أن التنبؤ لا يزال فنا بقدر ما هو علم في الواقع، فيمكن تضميد حالات الغلاف الجوي في نظرية الفوضى ولا يمكن أبدا تحديدها بالكامل . [8]

I-3 التنبؤات الطقسية عبر التاريخ :

التنبؤ بالطقس في الحقيقة يعود إلى بدايات الحياة الإنسانية في الحضارات القديمة، ففي وقت مبكر تعلم الصيادون والمزارعون والمحاربون والرعاة والبحارة أهمية القدرة على معرفة ما قد يكون عليه الطقس في المستقبل ، فقد حاول الإنسان تطوير قدرته على اكتشاف

علامات الطبيعة مثل التنبؤ بهطول الأمطار أو الثلوج أو هبوب الرياح أو أي تغير في الطقس عن طريق ملاحظته للسماء في أثناء النهار والليل على حد سواء .

كما استندت جميع طرق التنبؤ بالطقس القديمة إلى تجربة أنماط الأحداث المتكررة في مكان واحد .

- **البابليون والصينيون أول من قدموا التنبؤات الطقسية**

يعتبر البابليون والصينيون أول من قدموا التنبؤات الطقسية فمن غير المعروف بشكل دقيق متى بدأ الناس في مراقبة السماء لأول مرة للتنبؤ بمتغيرات الطقس ، ولكن في نحو 650 قبل الميلاد قدم البابليون الذين حكموا بلاد ما بين النهرين أول تنبؤات جوية قصيرة المدى بناء على ملاحظاتهم للنجوم والغيوم .

وبحلول عام 300 قبل الميلاد أدرك الصينيون أيضا أنماط الطقس ، فقد طور علماء الفلك الصينيون تقويما يقسم السنة إلى 24 مهرجانا يرتبط كل منها بظاهرة مناخية مختلفة .

وبشكل عام كانت تعزى تقلبات الطقس وتغيراته في تلك الحقبة إلى تقلبات مزاج الآلهة حسب معتقداتهم اين ذاك .

- **الإغريق القدماء يقدمون مصطلح " الأرصاد الجوية "**

كان الإغريق القدماء أول من طور منهجا علميا لشرح متغيرات الطقس، فقدموا واحدا من أقدم الأساليب العلمية للتنبؤ بالطقس، وثقها الفيلسوف أرسطو في كتابه "gieMètèorolo" حيث شرح تكوين المطر والسحب والرياح والعواصف كما وصف الظواهر السماوية مثل المذنبات والهالات.

وتطرق تلميذة ثيوفراستوس في كتابه أيضا إلى مجموعة من المعتقدات عن الطقس وعلامات التنبؤ التي شملت ألوان السماء والهالات وحتى الأصوات الصادرة من السماء .

- **اختراع مقاييس التنبؤ بالطقس**

على مر القرون استندت محاولات التنبؤ بالطقس إلى مراقبة السماء والملاحظات الشخصية ، ولكن بحلول نهاية عصر النهضة أصبح من الواضح أن تكهنات الفلاسفة وكتبهم كانت غير كافية ، و أن المعرفة الأكبر والأدق كانت ضرورية لتعزيز فهم الغلاف الجوي .

ومن أجل القيام بذلك كانت هناك حاجة إلى أدوات لقياس خصائص الغلاف الجوي.

كانت البداية في مطلع القرن الخامس عشر مع الرسام المشهور ليوناردو دافنشي حيث إخترع أول أداة لقياس الرطوبة ألا وهي جهاز "مقياس الرطوبة" ، يليه إختراع جاليليو جاليلي لمقياس الحرارة عام 1592 ، ثم جاء اختراع طالبة جاليليو إيفانجليستا توريشلي لمقياس الزئبق لقياس ضغط الهواء ، حيث ساعد هذا الإختراع الرياضي والفيلسوف الفرنسي بليز باسكال في اكتشافه أن العلاقة بين الضغط والارتفاع علاقة عكسية أي أن الضغط الجوي يتناقص مع زيادة الارتفاع

- **اكتشافات الكيميائيين والفيزيائيين**

تدريجيا بدأ العلماء يدركون أن الطقس يتأثر بعمليات الغلاف الجوي واسعة النطاق وأن الرياح والعواصف تتبع أنماطا معينة في مناطق مختلفة ، ومن هنا بدأ فضولهم بتحفيزهم على المزيد من الاكتشافات .

كان العالم والسياسي بنجامين فرانكلين من أوائل من درسوا العواصف والبرق على وجه الخصوص وقد أكتشف أن العواصف تنتقل عموما من الغرب إلى الشرق ، مما مهد الطريق لفهم أفضل للمناخ والغلاف الجوي .

كما أن اكتشاف قوانين ضغط الغاز ودرجة الحرارة والكثافة وتطوير حساب التفاضل والتكامل بواسطة إسحاق نيوتن وتطوير قانون الضغوط الجزئية للغازات المختلفة بواسطة جون دالتون وغيرها من الاكتشافات جعلت من الممكن قياس وفهم جوانب غير معروفة من الغلاف الجوي ، والتي مهدت الطريق لظهور شبكات مراقبة الطقس .

- **إقامة أولى شبكات مراقبة الطقس**

في عام 1654 أنشأ النبيل فرديناند الثاني أول شبكة لرصد الأحوال الجوية في إقليم توسكانا في إيطاليا ، والتي كان يعمل بها إلى غاية 1670 .

وبعد أكثر من 100 عام قامت جمعية Palatine الألمانية للأرصاد الجوية بتثبيت أول أرشيف عالمي للطقس.

لمدة 15 عاما تلت قامت 39 محطة أرصاد جوية منتشرة عبر أمريكا الشمالية وأوروبا وروسيا بجمع بيانات الأرصاد الجوية ثلاث مرات يوميا باستخدام معدات قياسية .

لكن كانت إحدى العقبات الرئيسية لمشاركة أي توقعات جوية هي إرسال البيانات إلى المكتب الرئيسي للجمعية عن طريق القوارب والخدمات البريدية، إلى أن أخترع التلغراف.

- **دور التلغراف والمسبار اللاسلكي في تسهيل مشاركة معلومات الطقس**

سمح اختراع التلغراف الكهربائي عام 1837 من قبل صمويل مورس بمشاركة تنبؤات الجو ورصده في مناطق مختلفة من العالم ، ومكنت المتنبئون بالطقس من الحصول على ملاحظات من العديد من المواقع البعيدة في غضون ساعات قليلة من جمع هذه البيانات ، وبعد ذلك يتم تنظيم هذه البيانات برسم خرائط الطقس التي تسمى مخططات الطقس السينوبتيكية التي استندت على تجميع وتحليل العديد من الملاحظات المأخوذة للطقس ، وعرض بياناته التي تحدث في نفس الوقت فوق منطقة ما (مساحة واسعة) .

كان التلغراف يقوم بسبر تخطيطي لدرجة حرارة الهواء ويعكس الظروف الجوية التي تسبق بشكل متكرر حدوث العواصف الرعدية الشديدة وربما الأعاصير.

ومع تشكيل شبكات مراقبة الأرصاد الجوية الإقليمية والعالمية ، أصبحت المزيد من البيانات متاحة للتنبؤ بالطقس القائم على المراقبة مع اختراع المسبار اللاسلكي.

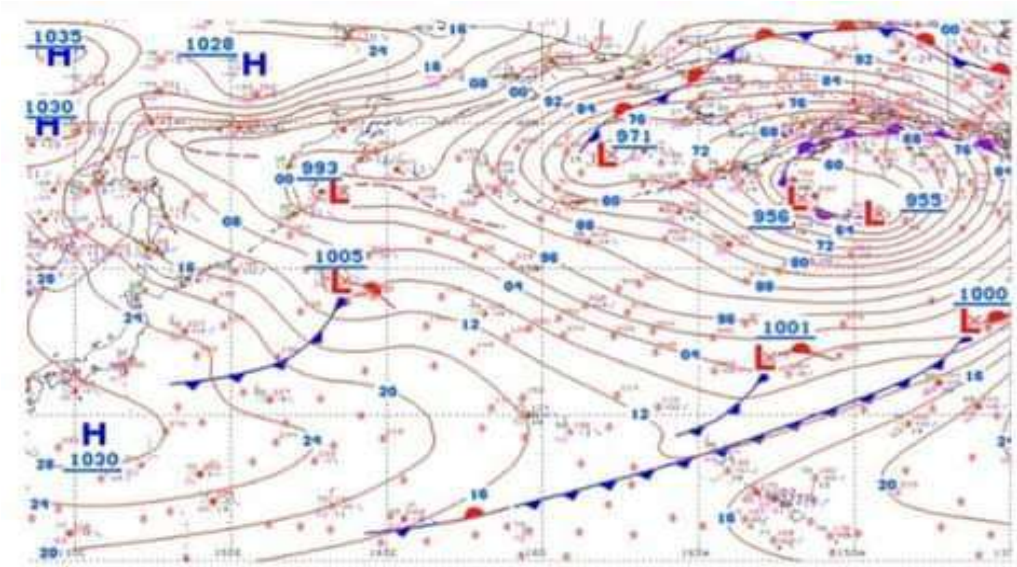
المسبار اللاسلكي عبارة عن صناديق صغيرة وخفيفة الوزن مزودة بأجهزة الطقس وجهاز إرسال لاسلكي ، يتم إرسالها عاليا في الغلاف الجوي بواسطة بالون مملوء بالهيدروجين أو الهيليوم ، يصعد إلى إرتفاع حوالي 30 كيلومترا قبل الانفجار ، أثناء الصعود تنقل هذه

الأجهزة بيانات درجة الحرارة والرطوبة والضغط إلى محطة أرضية ، حيث يقوم العلماء بمعالجة البيانات وإتاحتها لإنشاء خرائط الطقس أو إدراجها في نماذج الكمبيوتر للتنبؤ بالطقس .

أما في يومنا هذا وللحصول على أدق التنبؤات يتم إطلاق مسابير الراديو كل 12 ساعة من مئات المحطات الأرضية في جميع أنحاء العالم . [9] [10] [11] [12]

I-4 نتطرق إلى بعض خرائط الطقس (مخططات الطقس السينوبتيكية) نوضح فيها كيفية تجميع و تحليل الملاحظات المأخوذة للطقس بواسطة التلغراف والمسبار اللاسلكي

- **مراكز الضغط العالي والمنخفض**



الشكل I-1 مراكز الضغط العالي والمنخفض [13]

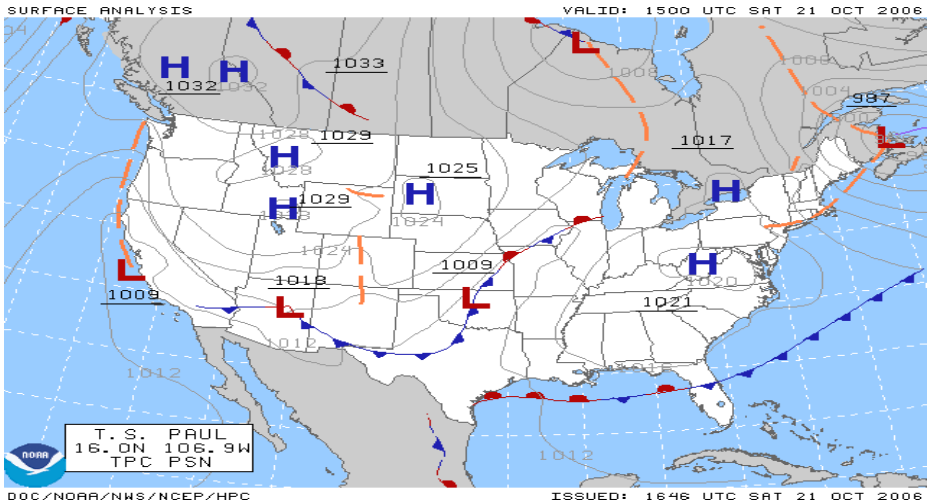
يتم عرض مراكز الضغط العالية والمنخفضة فوق المحيط الهادي .

حيث يشير كل من الحرفين H و L إلى مراكز الضغط العالية والمنخفضة ، تميل الارتفاعات إلى تحقيق المناخ المستقر بينما المنخفضات تشير إلى السحب والأمطار . [13]

يتم دائما تمييز مراكز الضغط على خرائط الطقس السطحية .

ويمكن أن تظهر أيضا على خرائط الهواء العلوي.

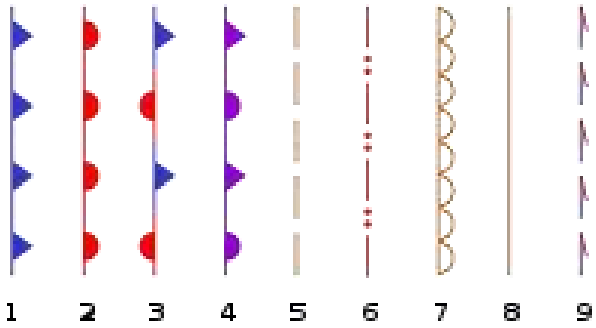
- **خرائط ايزوبار**



الشكل I-2 ايزوبار [13]

نلاحظ في الشكل أعلاه خطوطا تحيط بمراكز الضغط المرتفع (H) والمنخفض (L) ، تسمى هذه السطور بخطوط إيزوبار (متساوية الضغط) لأنها تربط المناطق التي يكون فيها ضغط الهواء هو نفسه . [13]

- **ميزات الطقس**



الشكل I-3 ميزات الطقس [13]

تظهر جبهات الطقس على هيئة خطوط ملونة مختلفة تمتد للخارج من مركز الضغط.

الجبهات الدافئة : هي خطوط منحنية حمراء مع دوائر حمراء (2)

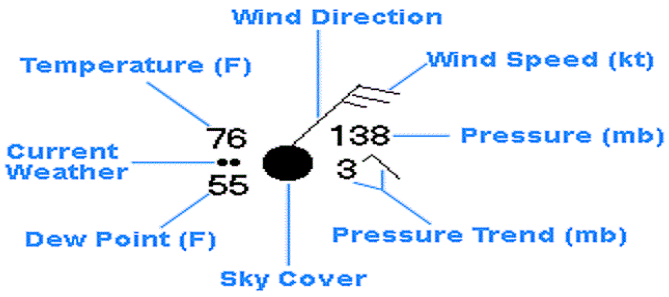
الجبهات الباردة: هي خطوط زرقاء منحنية مع مثلثات زرقاء (1)

الجبهات الثابتة: (رقم3)، الجبهة المسدودة (4) ، سطح الحوض (5) ،

خط العاصفة (6) ، الخط الجاف (7) ، موجة إستوائية (8) ، lawTro)9(

توجد جبهات الطقس فقط على خرائط الطقس السطحية . [13]

- **مخططات الأرض**

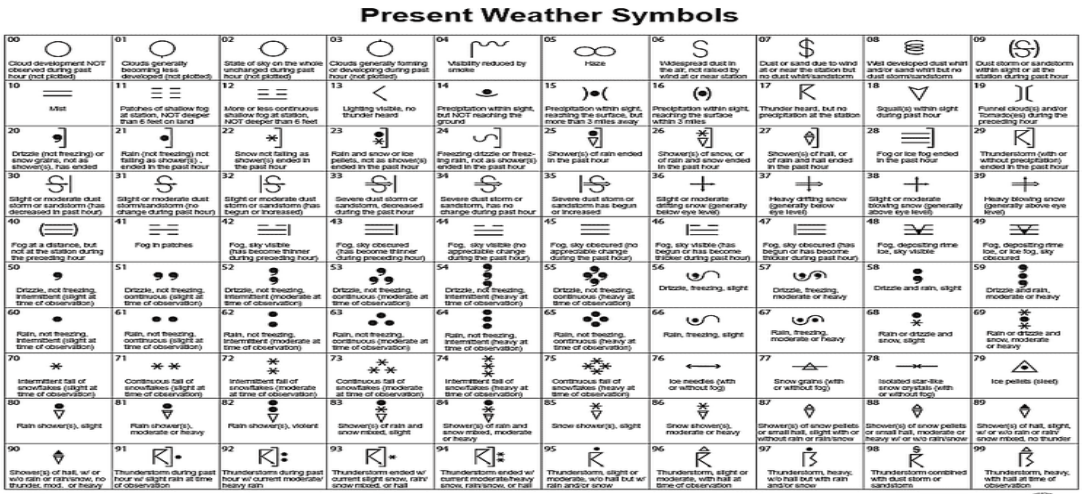


الشكل I-4 نموذج لمحطة أرضية [13]

تحتوي بعض خرائط الطقس السطحية على مجموعة من الأرقام والرموز المعروفة بمخططات الأرض كما هو موضح في الشكل 4. حيث تصف قطع الأرض لمحطة الطقس بما في ذلك تقارير عن الموقع كدرجة حرارة الهواء ، ودرجة حرارة نقطة الندى ، الطقس الحالي ، الضغط الجوي ، واتجاه وسرعة الرياح .

- **خريطة الرموز للطقس الحالي**

تستخدم هذه الرموز لإخبارنا ما هي الظروف الجوية التي تحدث حاليا في موقع معين .



الشكل I-5 رموز الطقس [13]

- **خريطة رموز السحب**

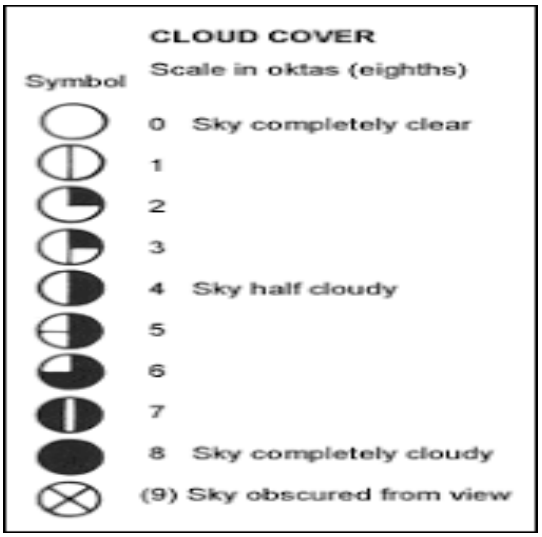
CLOUD ABBREVIATION		C_L	DESCRIPTION (Abridged from W.M.O. Code)		C_M	DESCRIPTION (Abridged from W.M.O. Code)		C_H	DESCRIPTION (Abridged from W.M.O. Code)
St or Fs – Stratus or Fractostratus	1		Cu: fair weather, little vertical development & flattened	1		Thin As (most of cloud layer semitransparent)	1		Filaments of Ci, or "mares tails", scattered and not increasing
Ci – Cirrus	2		Cu, considerable development, towering with or without other Cu or SC bases at same level	2		Thick As, greater part sufficiently dense to hide sun (or moon), or Ns	2		Dense Ci in patches or twisted sheaves, usually not increasing, sometimes like remains of Cb; or towers tufts
Cs – Cirrostratus	3		Cb with tops lacking clear-cut outlines, but distinctly not cirriform or anvil shaped; with or without Cu, Sc, St	3		Thin Ac, mostly semi-transparent; cloud elements not changing much at a single level	3		Dense Ci, often anvil-shaped derived from associated Cb
Ac – Altocumulus	4		Sc formed by spreading out of Cu; Cu often present also	4		Thin Ac in patches; cloud elements continually changing and/or occurring at more than one level	4		Ci, often hook-shaped gradually spreading over the sky and usually thickening as a whole
As – Altostratus	5		Sc not formed by spreading out of Cu	5		Thin Ac in bands or in a layer gradually spreading over sky and usually thickening as a whole	5		Ci and Cs, often in converging bands or Cs alone; generally overspreading and growing denser; the continuous layer not reaching 45 altitude
Sc–Stratocumulus	6		St or Fs or both, but no Fs of bad weather	6		Ac formed by the spreading out of Cu	6		Ci and Cs, often in converging bands or Cs alone; generally overspreading and growing denser; the continuous layer exceeding 45 altitude
Ns–Nimbostraus	7		Fs and/or Fc of bad weather (scud)	7		Double-layered Ac, or a thick layer of Ac, not increasing; or Ac with As and/or Ns	7		Veil of Cs covering the entire sky
Cu or Fc–Cumulus or Fractocumulus	8		Cu and Sc (not formed by spreading out of Cu) with bases at different levels	8		Ac in the form of Cu-shaped tufts or Ac with turrets	8		Cs not increasing and not covering entire sky
Cb-Cumulonimbus	9		Cb having a clearly fibrous (cirriform) top, often anvil-shaped, with or without Cu, Sc, ST or scud	9		Ac of a chaotic sky, usually at different levels; patches of dense Ci are usually present	9		Cc alone or Cc with some Ci or Cs but the Cc being the main cirriform cloud

I- 6 رموز السحب [13]

تستخدم هذه الرموز في محطات الأرصاد الجوية للإشارة إلى أنواع السحاب التي تمت ملاحظتها في موقع محطة معينة ، يتم تمييز كل رمز سحابة ب الحروف H أو L أو M وتمثل المستوى المرتفع أو المتوسط أو المنخفض ، وتوضح الأرقام من 1 إلى 9 الموجودة أولوية السحابة المبلغة . [13]

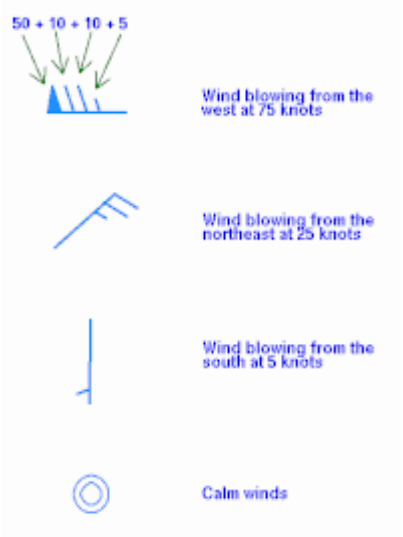
- **رموز غطاء السماء**

حيث يمثل المقدار الذي تملأه الدائرة مقدار السماء المغطاة بالغيوم .



I-7 رموز غطاء السماء [13]

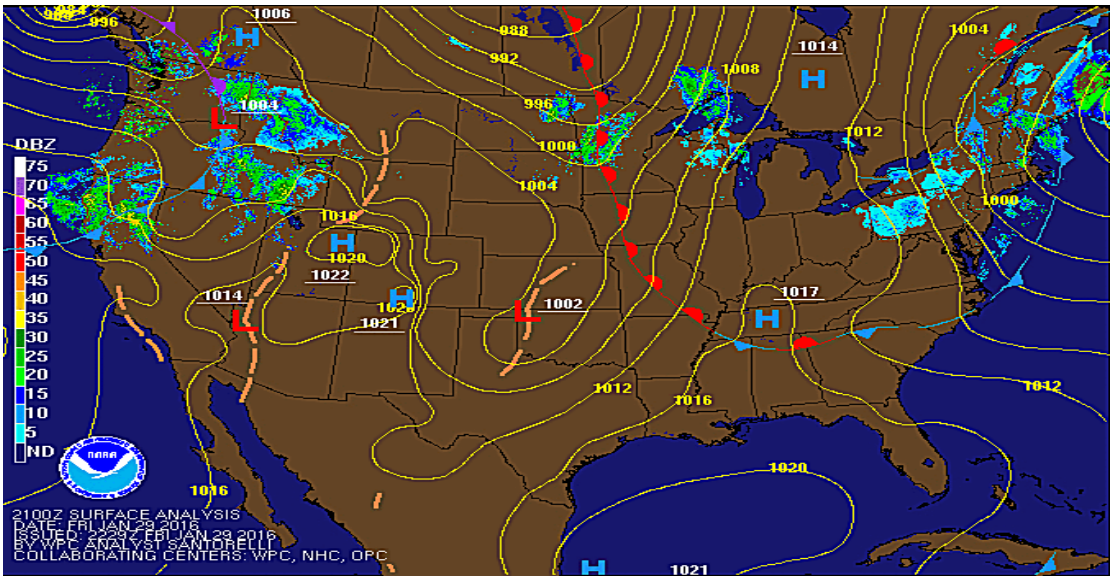
I-8 رموز اتجاه وسرعة الرياح



حيث يشار إلى اتجاه الرياح من خلال الخط الممتد الخارج من دائرة غطاء السماء، والاتجاه الذي يشير إليه الخط هو الاتجاه الذي تهب منه الرياح .ويشار إلى سرعة الرياح من خلال الخطوط القصيرة الممتدة من الخط الطويل، ويتم تحديد السرعة الإجمالية عن طريق الجمع بين الأحجام المختلفة التي يمثل كل منها

5 عقدة ، 10 عقدة ، 50 عقدة .

- **رموز مناطق هطول الأمطار**



الشكل I-9 رموز هطول الأمطار [13]

يتم تقدير كثافة المطر والثلوج والصقيع والبرد بناءا على اللون، حيث يمثل اللون الأزرق الفاتح إلى أمطار خفيفة أو ثلج ، ويشير الأحمر الأرجواني إلى أمطار فيضانيه أو عواصف شديدة .

I-5 مكونات نظام التنبؤ الطقسي :

المرحلة(1) : رصد الأحوال الجوية الحالية

تتم في هذه المرحلة معرفة تفاصيل حالة الطقس الحالية، فحتى يتم التنبؤ بحالة الطقس في المستقبل، نحتاج أولا إلى معرفة حالة الطقس الحالية بدقة، بحيث يتم قياس متغيرات الطقس مثل: درجة الحرارة، وهطول الأمطار، والضغط الجوي، والرياح، والرطوبة، على مدار 24ساعة كل يوم، ويتم تمريرها إلى مراكز التنبؤ بالطقس الرئيسية، والتي تستخدمها مع صور الأقمار الصناعية للحصول على وصف واضح للسلوك الحالي للغلاف الجوي.

المرحلة(2) : حساب الكيفية التي سيتغير فيها الطقس في المستقبل

تحتوي مراكز الأرصاد الجوية والتنبؤ بالطقس على أجهزة حاسوب ضخمة، تستخدم هذه الأجهزة البيانات الناتجة عن الرصد الجوي لإدخالها إلى معادلات معقدة للغاية تمكننا من التنبؤ بكيفية انتقال الحالات الجوية، والطريقة التي سيتغير فيها الطقس مع مرور الوقت.

المرحلة(3) :الاستعانة بخبراء الأرصاد الجوية لتحسين تفاصيل التنبؤات

يقوم خبراء الأرصاد الجوية بالاضطلاع على نماذج التنبؤات الحاسوبية عدة مرات في اليوم، ويعملوا على مدار الساعة للتحقق من أن الأحوال الجوية تسير وفق الطريقة التي تم توقعها، وإذا لم يكن الأمر كذلك، يتم تعديل التوقعات قبل إعلانها للناس، خاصة إذا كانت التعديلات تعني تغير في الأحوال الجوية، مثلا؛ إذا تبين أن درجة الحرارة أقل من الدرجة التي تم توقعها فهذا قد ُيحدث فارق بالنسبة لتشكل الصقيع في الليل، وعندما قد يستدعي الأمر إصدار تنبيه للتعامل مع الصقيع ويستطيع متنبئ الأرصاد الجوية مقارنة النتائج من النماذج الحاسوبية من مراكز التنبؤ حول العالم، والتي تنتج جميعها تنبؤات بالطقس لكامل الكرة الأرضية، ولكنها تختلف قليلا في طريقة عمل بعض الحسابات، ومن الأمثلة على هذه النماذج: المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى(ECMWF) والمركز الوطني للتنبؤ البيئي (NCEP) [14]

I-6 الآثار الاقتصادية والاجتماعية للتغيرات الطقسية :

1. الآثار الاقتصادية:

يرتبط تأثير تغير المناخ على المنشآت والعمال والمجتمعات المحلية ارتباطاً وثيقاً بالموقع ، ويتغير بمرور الزمن.

في المدى القصير، تنتج التأثيرات غالباً عن زيادة تقلبات أحوال الطقس وظواهر الطقس القصوى مثل موجات الحرارة والعواصف والفيضانات والجفاف

وفي المدى الطويل، وبالاعتماد إلى حد كبير على ما إذا اتخذت تدابير لخفض إنبعاثات غازات الدفيئة خفضاً حاداً خلال العقدين المقبلين، سيصبح ارتفاع درجات الحرارة في حد ذاته عاملاً رئيسياً للتغير. وتتمثل إحدى العواقب في انخفاض المحاصيل الزراعية في عدة مناطق في المستقبل.

وقد بات ارتفاع درجات الحرارة يؤدي بالفعل إلى ذوبان الأنهار الجليدية بما فيها الموجودة في منطقة القطب الشمالي حيث ارتفعت درجات الحرارة بسرعة تعادل مقداري المتوسط المسجل في العالم

ومن المنطقي أنّ اختلال النشاط الاقتصادي وفقدان الهياكل الأساسية والأصول المنتِجة في المنشآت ونقل مواقع المنشآت والسكان وذلك انخفاض الإنتاجية يؤثر سلباً على العمالة و المداخيل ويتسبب في الهجرة أو يجبر عليها أحياناً، ولكن لم يُبذل مجهود يذكر لتحديد هذه الآثار وقياسها

كما تشكل العوامل البيئية خاصة تغير المناخ، محركا قوياً بالفعل للهجرة سواء داخل الحدود أو خارجها [15]

2. الآثار الاجتماعية

- إن تغير المناخ العالمي الناجم عن أنشطة الإنسان يجعل النظم البيئية أكثر عرضة للضرر بسبب حدوث تغير في تواتر الحرائق و الأعاصير والعواصف الجليدية وتفشي الحشرات وكثافتها ومواقيتها و قيل أنها مرتبطة بتغير المناخ في سلسلة الأنواع الحية التي يعتمد العديد منها على الغابة إلى زيادة تفاقم آثار العوامل غير الحيوية في صحة الغابات
- تؤثر التغيرات المناخية على انخفاض الإنتاج الزراعي الذي يعتمد بشكل رئيسي على هطول الأمطار لري المحاصيل في كثير من البلدان الإفريقية كما سيتم فقدان الكثير من الأراضي الزراعية وهذا سيؤثر سلبا على الأمن ألغدائي في القارة .
- ان تغير المناخ سيؤثر تأثيرا ضارا للغاية على بعض من أهم المحددات الأساسية للصحة وهي : الغداء والهواء والماء ولكن الظواهر الجوية المتطرفة مثل العواصف وموجات الحرارة ونوبات الجفاف والفيضانات ستزداد شدة وتوترا على النحو المفاجئ وستكون عواقبها محسوسة بشدة [15]

الفصل الثاني:

II-نمـاذج التنبؤات الطقسية

II-1 مقدمة

يعد التنبؤ بالطقس أمرا ضروريا اليوم ، وللتنبؤ بلون سماء الغد يحتاج علماء الأرصاد الجوية إلى نماذج محاكاة للغلاف الجوي .

من المعروف أنه من أجل محاولة التنبؤ بالجوانب السلوكية للنظام من الضروري إنشاء نموذج رياضي تقريبي له. يجب تحديد هذا النموذج على أساس قوانين التطور، كما هو صالح في الاقتصاد كما هو الحال في الأرصاد الجوية، حيث يتم محاكاة سلوك النظام في أوقات مختلفة عن الحالة الأولية المحددة مسبقا .

نظرا لكون الغلاف الجوي مساحة شاسعة والقوانين التي تحكمه معقدة فإن النماذج العددية تنفذ عددا لا يحصى من العمليات الحسابية ، لذلك تبدو المعالجة البشرية مستحيلة وكان من الضروري انتظار تطوير أجهزة الكمبيوتر في الخمسينيات من القرن الماضي حتى نتمكن من تصميم الغلاف الجوي .

تعتبر نمذجت الطقس بالكمبيوتر أساس أي تنبؤ بالطقس ، يتم أخذ العديد من المعلمات في الاعتبار في النماذج، الحالة المتغيرة للغلاف الجوي وعلى مستوى الأرض (درجة الحرارة ، الرطوبة ، الرياح ...الخ) والعمليات الفيزيائية في الغلاف الجوي والتربة، أو التفاعل بين التربة والجو (والعكس صحيح).

بفضل كل هذه البيانات يمكن لأجهزة الكمبيوتر العملاقة إنشاء خرائط نمذجة رقمية .

II-2 تعريف النماذج الطقسية :

نموذج الطقس هو برنامج كمبيوتر يحاول التنبؤ بسلوك الغلاف الجوي من خلال تطبيق القواعد الفيزيائية والرياضية على معلمات الطقس المعروفة، تتضمن هذه المعلمات بيانات الأقمار الصناعية وقراءات المحطات والملاحظات...الخ ، الخوارزميات التي يحددها مهندسو الطقس تكون مسؤولة بعد ذلك عن إخراج بيانات التنبؤ وفقا لشبكة دقيقة إلى حد ما ، تتراوح الشبكة من 100 كيلومتر (نموذج عالمي أو عام) إلى كيلومتر واحد (نموذج إقليمي أو شبكة دقيقة أو نموذج عالي الدقة) . [14]

II-3 أنواع النماذج الطقسية

هناك العديد من النماذج المستخدمة للتنبؤ بحالة الطقس لكن أشهرها النماذج الأوروبية والأمريكية ، الأول هو نموذج المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى ، والنموذج الثاني لخدمة الطقس الوطنية الأمريكية ويسمى نموذج التنبؤ العالمي ، كما يوجد نماذج متوسطة الحجم التي تختلف عن النماذج السابقة بكونها أكثر دقة تخصصية أي أنها تقيس الطقس في مناطق محددة وقادرة على إعطاء تنبؤات دقيقة للطقس السائد في مناطق جغرافية صغيرة .

- نموذج GFS (الأمريكي)

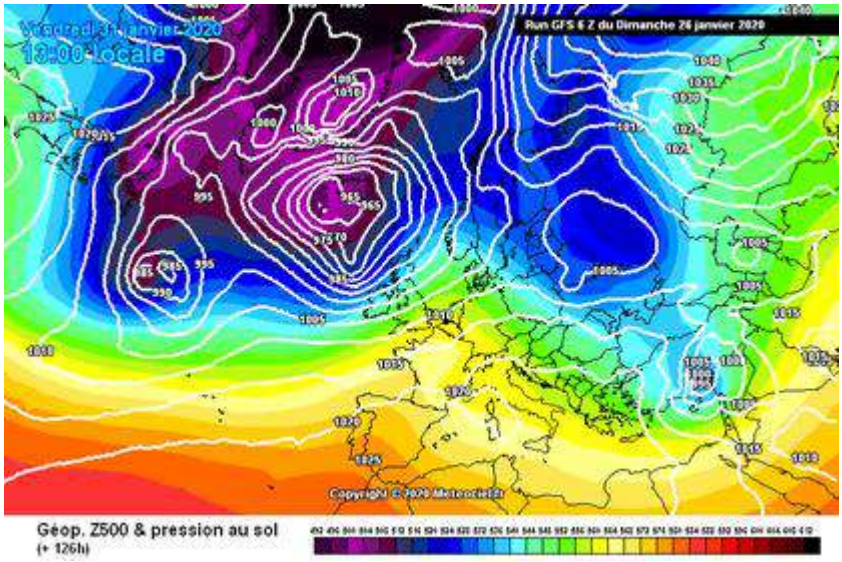
يتم إنتاج نموذج GFS بواسطة المراكز الوطنية للتنبؤ البيئي NCEF (نظام التنبؤ العالمي)، هذه المنظمة عبارة عن اندماج العديد من المراكز الوطنية للتنبؤ بالطقس في الولايات المتحدة وهي أيضا جزء من خدمة الطقس الوطنية NWS.

من بين المراكز الوطنية التسعة يطور مركز النمذجة البيئية EMC بشكل خاص نموذج GFS ، تتم تهيئة نظام التنبؤات العالمي 4 مرات في اليوم :

run 00Z ; run 06Z ; run 12Z ; run 18Z

ترتفع حسابات التوقعات الأولية إلى 384 ساعة (16 يوما) ، تبلغ دقتها الأفقية 27 كم حتى 192 ساعة ، و 70 كم من 192 إلى 384 ساعة .

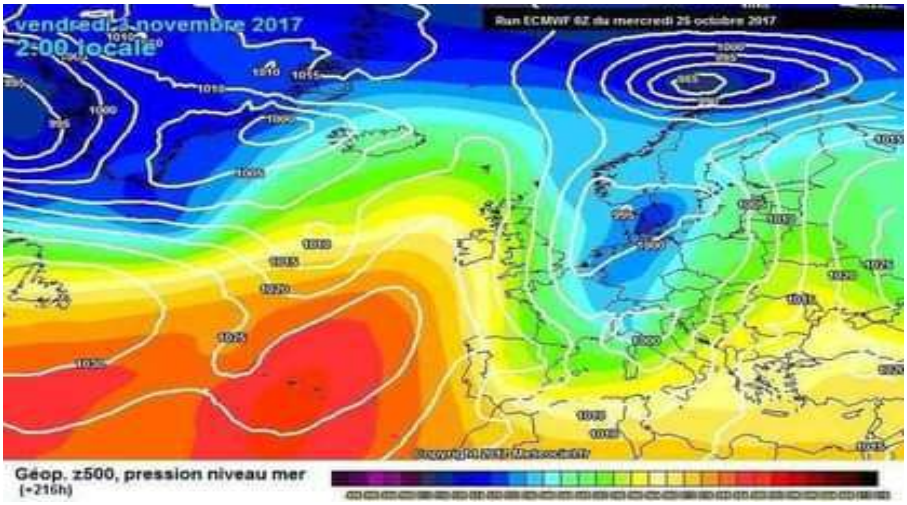
نلاحظ أن GFS برنامج حر ومجاني. [13]



الشكل II-1 النموذج الشامل]17[GFS

نموذج ECMWF -CEPMMT (الأوروبي)

نموذج ECMWF (المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى) هو نموذج يستخدم للتنبؤ حتى 10 أيام، على عكس نموذج GFS لا يمكن الوصول إلى جزء كبير من معلمات نموذج ECMWF مجانا. تتم تهيئة نموذج ECMWF مرتين في اليوم : run 12Z ، run 00Z



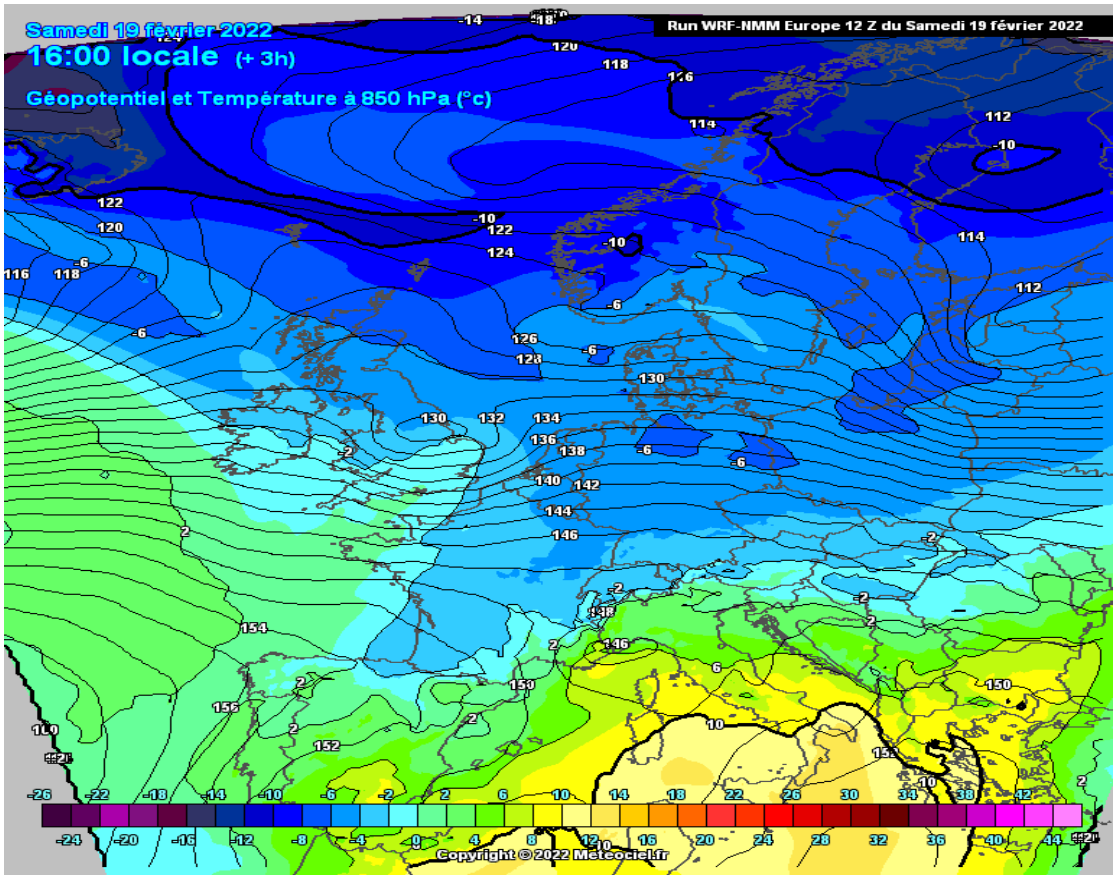
الشكل II-2 نموذج }18{ }15{ ECMWF

- النموذج WRF (الأمريكي)

يعد نموذج WRF (أبحاث الطقس والتنبؤ) نموذجا للطقس تستخدمه خدمة الطقس الوطنية بالولايات المتحدة لأبحاث محاكاة الغلاف الجوي ، وهو ما يسمى بالنموذج المتوسط الحجم ، ذا إستبانة أفقية بين 2 و 15 كم ، وهو نموذج حر ومجاني .

تتم تهيئة أبحاث الطقس والتنبؤ به أربع مرات في اليوم :

run 00Z ; run 06Z ; run 12Z ; run 18Z



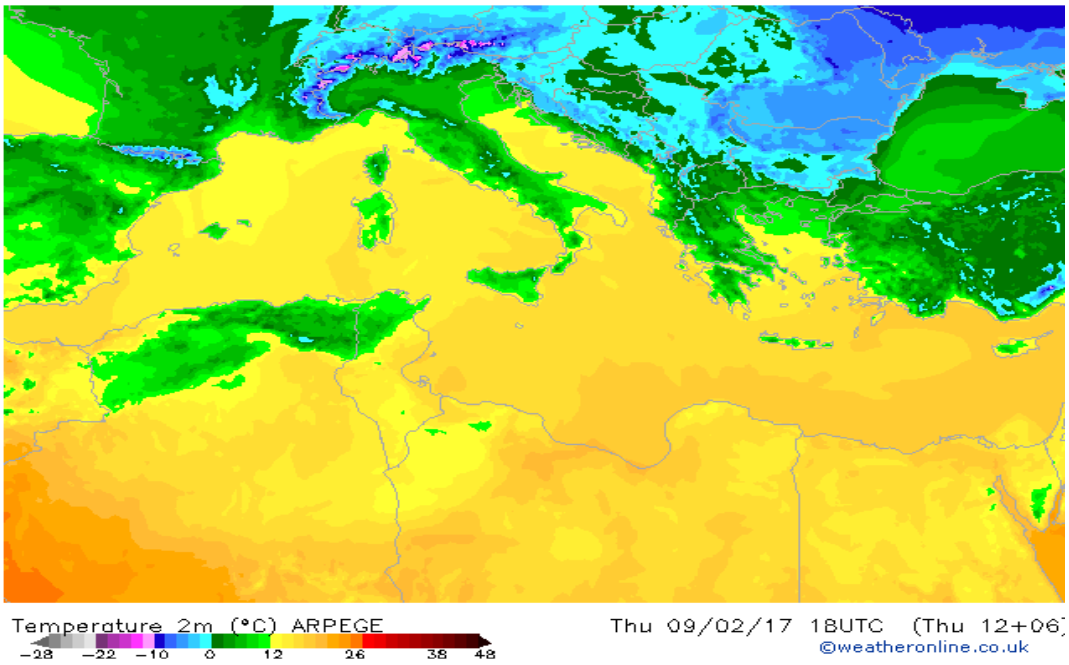
الشكل II-3 نموذج]18[ ]16[WRF

- نموذج ARPEGE (العالم)

نموذج ARPEGE (إجراء بحثي صغير الحجم على نطاق واسع) هو نموذج يغطي الكوكب بأكمله بشبكة متذبذبة وفقا للمناطق الجغرافية (7.5 كم في المتوسط لأوروبا)، مهلة التنبؤ هي أربعة أيام.

تتم تهيئة نموذج ARPEGE 4 مرات في اليوم :

run 00Z ; run 06Z ; run 12Z ; run 18Z



الشكل II-4 نموذج ARPEGE [18]

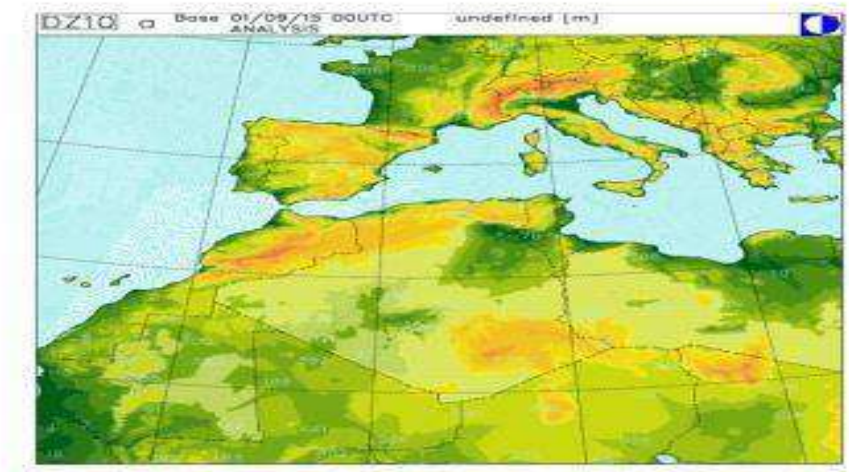
- نموذج AROME (الفرنسي)

نموذج AROME (تطبيق البحث على العمليات في المقياس المتوسط (Mesoscale))، هو نموذج بشبكة دقيقة جدا (شبكة 1.3 كم) للتنبؤ في فرنسا ، نطاق التوقعات يقتصر على 36 ساعة ، هذا النموذج الذي طورته هيئة التنبؤات الجوية الوطنية في فرنسا ينتمي إلى أحدث جيل من النماذج ، بفضل شبكته الدقيقة جدا فإنه يجعل من الممكن فهم ظواهر الحمل

الحراري بشكل أفضل مثل العواصف الرعدية ، وذلك بفضل تكامل بيانات المراقبة الجديدة أو مراعاة التضاريس ومجاري المياه والنباتات ...الخ

تتم تهيئة نموذج AROME أربعة مرات في اليوم:

run 00Z ; run 06Z ; run 12Z ; run 18Z



- الشكل II-5 نموذج]18[AROME

- نموذج CFS (الأمريكي)

نموذج CFS (تنبؤات المناخ الموسمية) هو نموذج موسمي تم تطويره بواسطة المراكز الوطنية للتنبؤ البيئي NCEP و NOAA ، يأخذ في الاعتبار المواقف السابقة وإحصائيات التطور، النينا (Nina) ، النينو ، تذبذب الشمال الأطلسي أو حتى تطور الكتل الهوائية في الأسابيع الأخيرة ، بفضل كل هذه البيانات تم اقتراح الاتجاهات الرئيسية لمدة ستة أشهر . [16] [18]

II-4 النماذج الديناميكية

يعتمد برنامج النموذج العددي على بعض المعادلات الفيزيائية الديناميكية، على شكل معادلات تفاضلية تحاكي الحركة المستقبلية للغلاف الجوي. وهي 6 معادلات تفاضلية غير خطية ، والمعادلات الأساسية في هذه المجموعة البدائية من المعادلات هي :

- ✓ معادلة الحفاظ على الزخم الزاوي
- ✓ المعادلة الديناميكية الحرارية
- ✓ معادلة الإستمرارية

المتغيرات الأساسية في هذه المعادلات هي

- u سرعة الرياح المحلية
- v سرعة الرياح الجنوبية
- w سرعة الرياح العمودية في الاحاثبات المتساوية الضغط
- ϕ العرض الجغرافي
- Cp الحرارة النوعية في الضغط الثابت
- P الضغط
- Ω الدوران الزاوي للأرض $\Omega = \frac{2\pi}{24}$
- T درجة الحرارة
- W ماء (على صورة مطر أو ثلج) والذي يمكن أن يكون بصورة هطول على الأرض

بالإضافة إلى :

- ✓ معادلة بخار الماء
- ✓ معادلة الغازات المثالية
- ✓ المعادلة الهيدروستاتيكية

نتطرق إلى بعض المعادلات :

معادلات حفاظ الزخم في الإتجاه الأفقي

$$\underbrace{\frac{\partial \mu}{\partial t}}_{\text{time dérivative}} = \underbrace{-\mu\frac{\partial u}{\partial x} - v\frac{\partial u}{\partial y} - w\frac{\partial u}{\partial z}}_{\text{advection terms}} + \underbrace{\frac{uv\tan\phi}{a} - \frac{uw}{a}}_{\text{curvature terms}} \underbrace{-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}}_{p\text{ ressure Gradient}} \underbrace{-2\Omega(w\cos\phi - v\sin\phi)}_{\text{Coriolis terms}} + \underbrace{F_x}_{\text{friction}} \quad \text{(II-4-1)}$$

$$\underbrace{\frac{\partial v}{\partial t}}_{\text{time dérivative}} = \underbrace{-\mu\frac{\partial v}{\partial x} - v\frac{\partial v}{\partial y} - w\frac{\partial v}{\partial z}}_{\text{advection terms}} + \underbrace{\frac{u^2\,ten\phi}{a} - \frac{uw}{a}}_{\text{curvature terms}} \underbrace{-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}}_{p\text{ ressure Gradient}} \underbrace{-2\Omega\, u\sin\phi}_{\text{Coriolis terms}} + \underbrace{F_y}_{\text{friction}} \quad \text{(II-4-2)}$$

معادلات حفاظ الزخم في الإتجاه العمودي

$$\underbrace{\frac{\partial w}{\partial t}}_{\text{time Dérivative}} = \underbrace{-\mu\frac{\partial w}{\partial x} - v\frac{\partial w}{\partial y} - w\frac{\partial w}{\partial z}}_{\text{advection terms}} \underbrace{-\frac{u^2+v^2}{a}}_{\text{curvature terms}} \underbrace{-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z}}_{p\text{ ressure Gradient}} \underbrace{-2\Omega\, u\cos\phi}_{\text{Coriolis terms}} + \underbrace{F_z}_{\text{friction}} \quad \text{(II-4-3)}$$

المعادلة الديناميكية الحرارية

$$= -\mu\frac{\partial T}{\partial x} - v\frac{\partial T}{\partial y}\frac{\partial T}{\partial t} + w(\gamma - \gamma_d) + \frac{1}{C_p}\frac{dH}{dt} \quad \text{(II-4-4)}$$

$$\underbrace{\quad}_{\text{time Dérivative}} = \underbrace{-\mu\frac{\partial T}{\partial x} - v\frac{\partial T}{\partial y} - w\frac{\partial T}{\partial z}\frac{\partial T}{\partial t}}_{\text{advection terms}} + \underbrace{w\,\gamma_d}_{\text{dry adiabatic}} + \underbrace{\frac{Q}{C_p}}_{\text{diabatic heating term}}$$

معادلة الإستمرارية

$$\underbrace{\frac{\partial \rho}{\partial t}}_{\text{time dérivative}} = \underbrace{-\mu\frac{\partial \rho}{\partial x} - v\frac{\partial \rho}{\partial y} - w\frac{\partial \rho}{\partial z}}_{\text{advection terms}} + \underbrace{\rho\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{dy} + \frac{\partial w}{\partial z}\right)}_{\text{divergence term}} \quad \text{(II-4-5)}$$

$$\underbrace{\frac{\partial q_v}{\partial t}}_{\text{time dérivative}} = \underbrace{-u\frac{\partial q_v}{\partial x} - v\frac{\partial q_v}{\partial y} - w\frac{\partial q_v}{\partial z}}_{\text{advection terms}} + Q_v \qquad \text{(II-4-6)}$$

معادلة بخار الماء

$$\frac{d\rho}{dt} = m \qquad \text{(II-4-7)}$$

معادلة الغازات المثالية

$$nRT=PV \Longrightarrow \rho=\frac{m}{v} \Longrightarrow \qquad p = \rho\, R\, T \qquad \text{(II-4-8)}$$

الشق الفيزيائي في نمذجة الطقس

يسمح الشق الفيزيائي من النموذج بحساب تبادلات الطاقة المختلفة بين الغلاف الجوي والمصادر الخارجية . بالنسبة للغلاف الجوي تتكون المصادر بشكل عام من : الإشعاع الشمسي ، المحيطات ، والقارات . سيتم حل هذه العمليات الفيزيائية التي لم يتم حلها بواسطة المعادلات والتي ترقى إلى تحديد متوسط تأثير هذه العمليات على المتغيرات الديناميكية للنموذج، والتي تتحقق من خلال حساب المصطلحات F و Q و M (F: قوة الاحتكاك ، Q: المساهمة الكتلية في الانتقال الحراري ، M : المساهمة الكتلية في بخار الماء).

[14] [13] [19]

II-4 -1 خطوات النمذجة الديناميكية :

- التحليل السببي الذي يجعل من الممكن الحصول على نموذج نوعي بسيط
- النمذجة (التشكيل الديناميكي ومرحلة القياس الكمي)
- المحاكاة ، والتي من شأنها أن تجعل من الممكن الحصول على نموذج تمثيلي وموثوق قدر الإمكان
- نقل المعرفة وفهم النموذج [20]

II-5 النماذج الإحصائية

من خلال ما اطلعنا عليه في موضوع التنبؤ الإحصائي يمكننا القول أن المفهوم تم تناوله في العديد من التعريفات، ومن بين هذه التعريفات : التنبؤ هو توقع أحداث مستقبلية لدراسات إحصائية وكمية للفترات الماضية، وكذلك دراسة الاتجاهات في المستقبل التي على أساساها نتوصل إلى وضع افتراضات للفترات المستقبلية.

كما سبق أن ذكرنا أن هناك تعاريف عديدة للتنبؤ فليس من الغريب أن تكون له صيغ عديدة حيث تصنف التنبؤات إلى أنواع وفقا للمعايير التالية:

1.**التنبؤ النقطي :** يتمثل بقيمة واحدة للمتغير التابع في كل فترة مستقبلية

2.**التنبؤ بقيمة :** يتمثل في التنبؤ بمدى معين تقع داخله قيمة المتغير باحتمال معين من حيث التنبؤ يمكن تقسيمه إلى :

- **التنبؤ قبل التحقيق :** يتوقع بقيم للمتغير التابع في فترات مستقبلية تتاح عنها بيانات خاصة بالمتغير التابع.
- **التنبؤ بعد التحقيق :** فهو التنبؤ الذي يتوقع قيما للمتغير التابع في فترة متاح عنها بيانات خاصة

مراحل التنبؤ الإحصائي:

- تحديد الهدف من إجراء عملية التنبؤ.
- جمع البيانات التاريخية المتعلقة بالظاهرة المراد التنبؤ بها ودراسة كافة الظروف المحيطة بها.
- عرض البيانات وتحليلها للاستعمال، وتحديد الفترة المراد التنبؤ من خلالها.
- التأكد من النتائج المتحصل عليها من خلال متابعة عملية التنبؤ

أهمية التنبؤ الإحصائي:

- يضمن إلى حد كبير الكفاءة العملية لديوان الأرصاد الجوية.
- يمكن للأرصاد الجوية معرفة حاجياتها على المدى المتوسط و البعيد
- يساهم في الحد من المخاطر التي تواجه الإنسان في الحياة اليومية وخاصة المرضى بأمراض مزمنة.
- يساهم بقدر كبير في اتخاذ القرارات وترقب أثارها مستقبلا [21]

النماذج الإحصائية للسلاسل الزمنية

تركز هذه النماذج على الجانب العشوائي في السلسلة الزمنية وتنقسم إلى

أ- نماذج الانحدار الذاتي (Autoregressive): حيث تكتب القيمة الجارية كدالة خطية في القيم السابقة لنفس المتغير.

ب- نماذج المتوسط المتحرك (Moyenne Average mobile): بحيث تكتب القيمة الجارية كدالة خطية في القيمة الجارية لعنصر الخطأ العشوائي وعدد من القيمة السابقة.

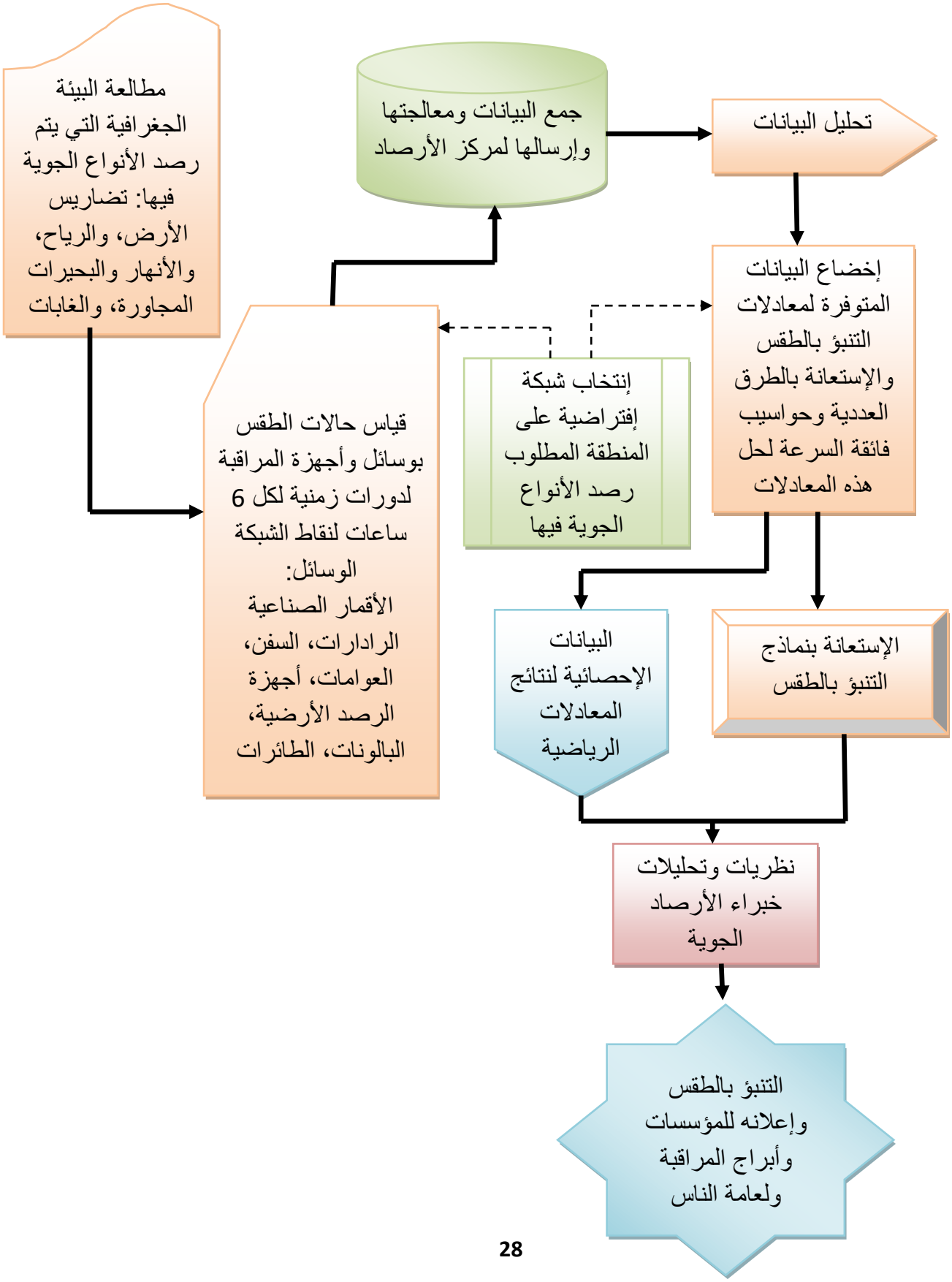
ت- نماذج بوكس جينكتر : يمكن التوفيق بين النموذجين Autoregressive , Moyenne Average mobile بنموذج ARMA حيث تمر هذه الطريقة بعدة مراحل قبل إجراء أية تنبؤ :

- التمييز، تحديد درجة Autoregressive،Moyenne mobile.
- التقدير.
- اختبار سوء التوصيف، التأكد من دقة النماذج
- التنبؤ.

ث- نماذج شعاع الانحدار الذاتي VAR: تستخدم في النماذج الآنية التي توجد فيها علاقات تبادلية بين المتغيرات [22]

II-6 مخطط التنبؤ بالطقس [13]

من خلال ما تطرقنا إليه سابقا نستطيع استنتاج مخطط التنبؤات الطقسية كالتالي :



الفصل الثالث:

III-الرياح وطرق قياسها

III-1 مقدمـــة

يتحرك الهواء على شكل رياح بفعل اختلاف الضغط على الأرض، تعد الرياح أحد الظواهر التي تحدث بصورة طبيعية في غلافنا الجوي وعلى سطح الأرض ، وتنتج الرياح بفعل انتقال الحرارة في الكتل الهوائية المختلفة والتي تنتقل من الكتل الهوائية الدافئة إلى الكتل الهوائية الباردة نتيجة لقوة الجاذبية الأرضية الحاصلة . كما أن هناك العديد من الأنواع للرياح والتي كل منها لها خصائصها ومناطق ترتكز فيها ومميزات وعيوب تختلف باختلاف نوع الرياح .

ولأشعة الشمس دور أساسي في حركة الرياح وقوة هبوبها على مناطق مختلفة من سطح الأرض . [23]

III-2 تعريف الرياح السطحية:

الرياح هي عبارة عن انتقال أو تحرك للكتل الهوائية من منطقة إلى أخرى.

وتكون هذه الحركة أفقية موازية لسطح الأرض حيث تختلف عن حركة الهواء العمودية ، والتي تظهر على شكل تيارات هوائية صاعدة وأخرى نازلة ، وتنتج هذه الرياح من اختلاف الضغط الجوي بين منطقة وأخرى حيث تنتقل من مناطق الضغط المرتفع نحو مناطق الضغط المنخفض .

عندما تكون الرياح قريبة من مستوى سطح الأرض تسمى بالرياح السطحية. [24]

III-3 أنواع الرياح

هناك العديد من الأنواع للرياح، تصنف حسب فترة هبوبها ومدى انتشارها إلى رياح دائمة، ورياح موسمية، ورياح محلية، ورياح يومية.

III-3-1-الرياح الدائمة: الرياح الدائمة الهبوب في منطقة ذاتها من العالم تسمى بالرياح الدائمة (السائدة)، وكتعريف دقيق، نعرف الرياح الدائمة بالرياح التي تهب بشكل منتظم ودائم من مناطق الضغط الجوي المرتفع إلى مناطق الضغط الجوي المنخفض طوال العام. ويعود تكون الرياح الدائمة إلى كون المناطق الاستوائية تتلقى حرارة أكثر من

المناطق القطبية ، لذا يندفع الهواء الحار شمال وجنوب خط الاستواء حيث يبرد . يتأثر اتجاه الرياح لحركة دوران الأرض حول نفسها .

وللرياح الدائمة ثلاث أنواع : تجارية ، عكسية ، وقطبية .

- **الرياح التجارية**

سميت الرياح التجارية بهذا الاسم لأن التجار كانوا يستفيدون منها بتحريك السفن التجارية ، والرياح التجارية هي الرياح التي تهب من منطقتي الضغط المرتفع فيما وراء المدارين إلى منطقة الضغط المنخفض (الرهو أو الركود الاستوائي) ، وتكون الرياح التجارية منتظمة طوال السنة في اتجاهها وقوتها ، وقد تقتصر على طبقات الجو السفلى ، والرياح التجارية ذات سرعة معتدلة تتراوح بين 16-24 كم في الساعة ، ويكون اتجاهها شمالية شرقية في نصف الكرة الشمالي، وجنوبية شرقية في النصف الجنوبي .

- **الرياح العكسية /الغربية**

سميت بالرياح العكسية لأنها تهب بعكس اتجاه الرياح التجارية ، أي من المنطقة المدارية ذات الضغط الجوي المرتفع باتجاه المناطق المعتدلة والشبه القطبية ذات الضغط الجوي المنخفض،ويكون اتجاهها عادة جنوبية غربية في النصف الشمالي للكرة الأرضية وشمالية غربية في النصف الجنوبي .تتراوح سرعتها ما بين 25-30 كم في الساعة .

- **الرياح القطبية**

تهب الرياح القطبية من القطبين إلى منطقتي الضغط المنخفض عند الدائرتين القطبيتين، ويكون اتجاه الرياح القطبية شمالية شرقية في نصف الكرة الشمالي ، وجنوبية شرقية في النصف الجنوبي ، تتميز الرياح القطبية بكونها باردة وجافة ، وعادة ما تكون ضعيفة .

III-3-2-الرياح الموسمية: تتشكل الرياح الموسمية بسبب ظروف الضغط الجوي ، حيث تتعرض إلى تحولات كبيرة مابين الصيف والشتاء ، تهب الرياح الموسمية في مواعيد معينة على أقاليم محصورة في المناطق المدارية ، وتتميز بتغير اتجاهها في فصل الصيف عن فصل الشتاء. تكون الرياح الموسمية على نوعين :

- **الرياح الموسمية الصيفية**
- **الرياح الموسمية الشتوية**

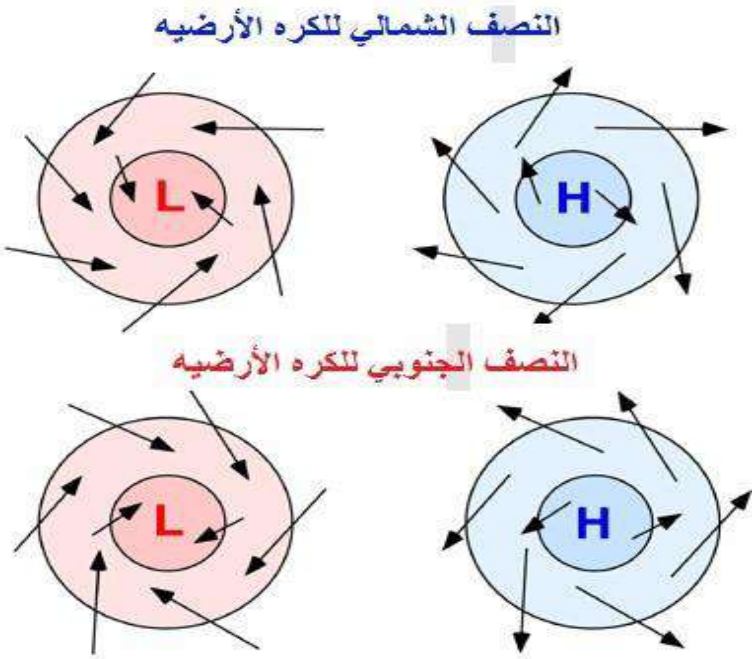
III-3-3-الرياح المحلية: هي رياح تغطي منطقة ضيقة ،حيث تتشكل بفعل اختلاف الضغط الجوي في مساحة صغيرة ولوقت قصير ، وقد يكون سببها عوامل أخرى مثل التضاريس ، تختلف الرياح المحلية عن الرياح الموسمية بأنها غير شاملة لموسم كامل حيث تهب خلال فترات متقطعة ، فهي تهب بين مناطق الضغط ذات التباين القليل الذي ينشأ بسبب اختلاف التسخين المحلي .

لها ثلاث أنواع : سموم ، وخماسين ، وشمالية .

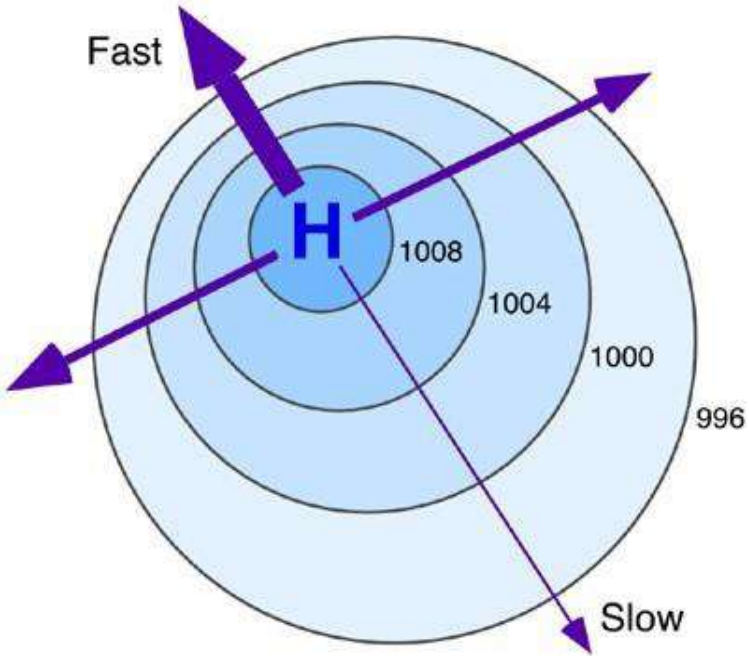
III-3-4-الرياح اليومية : تهب هذه الرياح يوميا وبصفة دورية في مناطق محددة، نتيجة لاختلاف درجات الحرارة والضغط الجوي بين اليابس والماء ، أو بين المرتفعات الجبلية والأودية أثناء الليل والنهار. ولها نوعان: إما أن تكون نسيم بر وبحر ، أو نسيم جبل ووادي [25] .

III-4 يوضح الشكل جهة الرياح من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض

[13]



أنماط دوران الرياح في مناطق الضغط العالي والمنخفض في النصف الشمالي والجنوبي للكرة الأرضية.



على مسار هذه الدوائر يكون الضغط ثابت، وتسمى هذه الخطوط بالخطوط المتساوية الضغط (isobar).

الدائرة الداخلية فيها الحرف (H) بمعنى الضغط العالي، وجهة حركة الرياح من هذه الدائرة للخارج، فكلما كان تدرج (gradient) الضغط أكثر كانت سرعة الرياح أكثر، وكلما كان التدرج أقل كانت سرعة الرياح أبطأ .

إذا كانت الفواصل بين الخطوط المتساوية الضغط قليلة، تدرج الضغط يكون كبير

الشكل **III-1**

III-5 القوة المؤثرة في الرياح [26]

III-5-1 قوة انحدار (تدرج) الضغط الجوي

القوة الناتجة من فرق قوة تحذر الضغط الجوي هي دائما تتـــجه من الضغط المرتفع إلى الضغط المنخفض، وان القوة المؤثرة في الهواء تتناسب طرديا مع شدة تحذر الضغط الجوي وحركة الرياح، فكلما كان الفرق كبيرا بين الضغط الجوي المرتفع والضغط الجوي المنخفض كانت القوة أكبر ودفعت الهواء بسرعة أكبر، وتعتبر هذه القوة المحرك الرئيس للهواء، إذ يستمر هبوب الرياح طالما هناك فرق في الضغط الجوي بين الموقعين .

III-5-2 قوة كوريوليس

هي قوة تنتج بسبب دوران الأرض حول محورها من الغرب إلى الشرق، وتؤثر هذه القوة في جميع الأجسام التي تتحرك ذاتيا مثل الماء والهواء. وتعمل قوة كوريوليس على تغيير اتجاه الهواء عند تحركه بفعل قوة تحذر الضغط الجوي، حيث ينحرف نحو يمين حركته في النصف الشمالي للكرة الأرضية ونحو يسار حركته في النصف الجنوبي، وتتناسب هذه القوة طرديا مع سرعة الرياح ومع دائرة العرض، حيث تساوي قيمتها صفرا عند دائرة الاستواء، وتزداد تدريجيا مع دوائر العرض حتى تصبح أكبر قيمة لها عند القطبين .

وتستمر قوة كوريوليس بحرف تجاه الرياح حتى يصبح موازيا تقريبا لخطوط تساوي الضغط الجوي، أي أن قوة كوريوليس تحول دون تحرك الهواء في خط مستقيم من الضغط المرتفع إلى الضغط المنخفض بفعل دوران الأرض حول محورها، وعندما تهب الرياح في النصف الشمالي للكرة الأرضية يكون المنخفض الجوي على يسار الرياح والمرتفع الجوي على يمينها .

III-5-3 قوة الاحتكاك

هي قوة تنتج بفعل احتكاك الرياح السطحية بتضاريس الأرض. الأمر الذي يقلل من سرعة الرياح، وبما أن هناك سطوحا خشنة مثل اليابسة وسطوحا أقل خشونة مثل سطح مياه المحيطات، تكون قوة الاحتكاك فوق المحيطات أقل وعليه تكون سرعة الرياح أكبر .

وكما تم الذكر سابقا أن قوة انحدار الضغط الجوي تحرك الهواء من الضغط الجوي المرتفع إلى الضغط الجوي المنخفض، ثم تحرفه قوة كوريوليس حتى يصبح موازيا لخطوط تساوي الضغط الجوي بحيث يكون المنخفض الجوي على يسار حركة الرياح والمرتفع الجوي على يمينها في نصف الكرة الشمالي ، أما قوة الاحتكاك فتقلل من سرعة الرياح ، الأمر الذي يضعف قوة كوريوليس ويجبر الرياح على الانحراف نحو القوة الأكبر، وهذا يجعل الرياح في النصف الشمالي للكرة الأرضية تدور عكس حركة عقارب الساعة حول المنخفض الجوي ، قاطعة خطوط تساوي الضغط الجوي بزاوية 15- 30 درجة، ومع حركة عقارب الساعة حول المرتفع الجوي قاطعة خطوط تساوي الضغط الجوي بزاوية 15 – 30 درجة، مبتعدة عن مركز المرتفع .

خطوط تساوي الضغط الجوي: هي الخطوط الواصلة بين محطات الرصد الجوي ذات قيم الضغط الجوي المتساوية. [26]

III-6 خصائص الرياح في الطبقة السطحية [25]

بناءا على تغيرات درجة الحرارة ينقسم الغلاف الجوي إلى 4 طبقات ، طبقة التروبوسفير، الستراتوسفير، والميزوسفير، والطبقة الحرارية الترموسفير .

يبلغ عمق طبقة التروبوسفير حوالي 10 كم في المناطق القطبية إلى 15 كم في المناطق الاستوائية، حيث تنخفض درجة الحرارة بشكل رتيب مع الارتفاع والعكس . تحدث معظم الظواهر الجوية في الطبقة الدنيا التروبوسفير وبالضبط في الطبقة الحدية للغلاف الجوي، وهي طبقة الهواء على ارتفاع 1 – 3 كم فوق سطح الأرض مباشرة، التي تتأثر بشدة

بتبادلات الزخم (قوة الدفع)، أي التفاعل الطاقوي بين الغلاف الجوي والسطح، الطاقة والكتلة، في نطاقات زمنية أقل من يوم واحد. ما تبقى من طبقة التروبوسفير يعرف بالغلاف الجوي الحر. تتميز الطبقة الحدية للغلاف الجوي بالميزات التالية :

- تكون التدفقات بشكل اضطرابي هي المسيطرة، وانتقال الطاقة والمادة بشكل رأسي، حيث يتناسب مع عمق الطبقة الحدية .
- يختلف شكل الطبقة الحدية باختلاف الزمان والمكان، تزداد سيطرة الشكل الاضطرابي مع الارتفاع .
- الكميات مثل الرياح، الحرارة، الرطوبة، تركيز الجسيمات، لها انحدار عمودي ثابت بالقرب من السطح.

تعتبر الطبقة الحدية الجوية تفاعلية ونشطة في الجزء القريب من السطح لهذه الطبقة، المعروفة بإسم الطبقة السطحية، متغيرات الغلاف الجوي مثل سرعة الرياح، ودرجة الحرارة، وتركيز الهباء الجوي، تتغير بسرعة مع الارتفاع .

تنقسم الطبقة السطحية إلى ثلاث طبقات :

- طبقـــة الاحتكاك (اللزوجة)
- طبقـــة الخشونة
- طبقــة التدفق المستمر

فهم الطبقة السطحية مهم لدراسات التآكل بالرياح (التعرية الريحية) ، لأن احتباس جزيئات التربة يتم تحديده من خلال انتقال الزخم (قوة الدفع) من هذه الطبقة إلى السطح، وتقتصر حركة الجسيمات بحجم الرمال على هذه الطبقة .

في طبقة قريبة جدا من السطح الأملس (أي أن عناصر الخشونة صغيرة بدرجة كافية)، يكون الاضطراب بشكل عام ضعيفا جدا ، بسبب التأثير القوي جدا للتبديد اللزج، هنا يهيمن الانتشار الجزيئي على عمليات النقل . هذه الطبقة تسمى الطبقة اللزجة .

تنتج الرياح السطحية عن الاختلاف الحاصل في الضغط الجوي من مكان إلى آخر على الكرة الأرضية، هذه الرياح تعمل على تعديل هذه الفروقات المسجلة في الضغط الجوي، تنتقل الرياح من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض، فكلما كان الفرق في الضغط كبيرا كانت الرياح قوية والعكس صحيح .

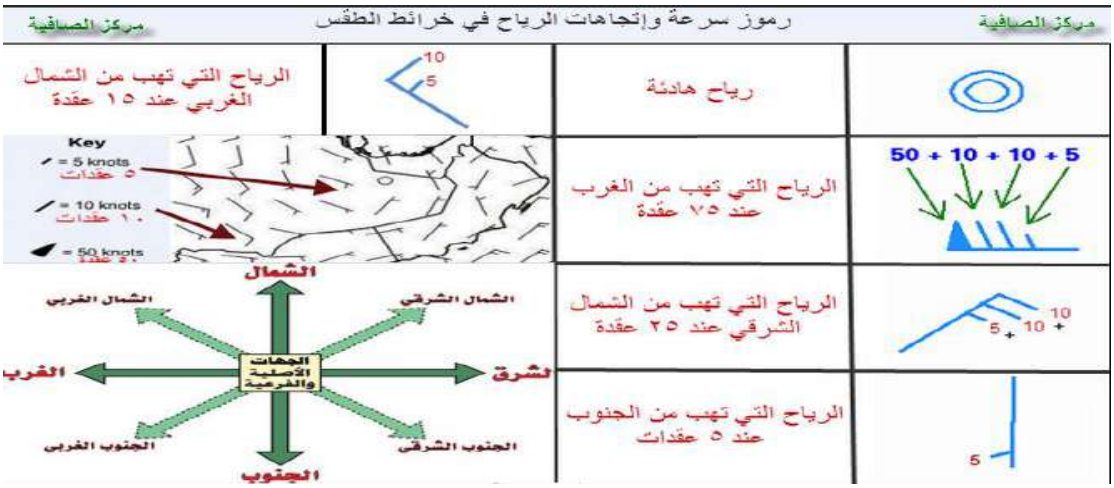
III-7 تمثيل الرياح في خرائط الرصد الجوي [27]

الطقس هو حالة الجو في فترة زمنية قصيرة قد تكون ساعة معينة، يوم، أو بضعة أيام، وعليه فإن خريطة الطقس هي الخريطة التي توضح حالة الجو أثناء هذه الفترة القصيرة، غالبا ما تكون خريطة الطقس تمثل حالة الجو في يوم واحد، وإن كانت معظم محطات الأرصاد الجوية في السنوات الأخيرة تقوم بإعداد ورسم أكثر من خريطة للطقس في اليوم الواحد، ذلك نتيجة أن الطقس يتغير في الساعة الواحدة أو اليوم عدة مرات، لا تقتصر خرائط الطقس على إظهار حالة الجو على سطح الأرض، بل أصبحت ترسم خرائط للطقس في طبقات الجو العليا على ارتفاعات مختلفة من سطح الأرض .

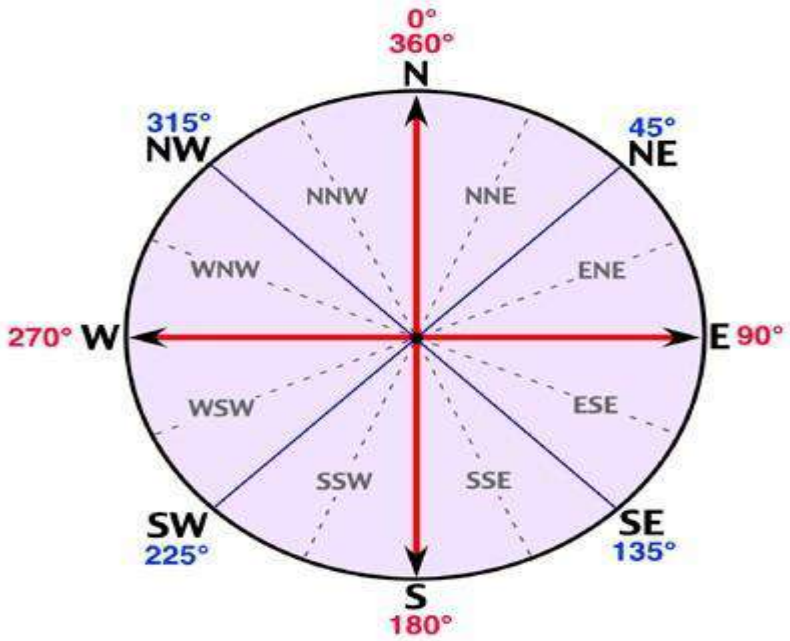
تنقسم عناصر الطقس إلى عدة أنواع منها، درجة الحرارة، كمية الأمطار، الرطوبة، الضغط الجوي والرياح، حيث نستعرض في ما يلي أحد هذه العناصر وهو الرياح وكيفية تمثيلها في الأرصاد الجوية.

يشير اتجاه الرياح إلى الجهة التي تهب منها الرياح على المحطة التي تتم فيها عملية الرصد، مقاسه من الشمال الحقيقي في اتجاه عقارب الساعة، أما سرعة الرياح فتقاس بالعقدة (1.85 كم).

الشكل III-2 يوضح ذلك . [28]

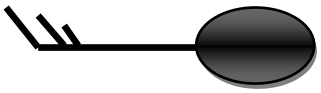


وتوضح جهة الرياح الرئيسية والفرعية كالآتي في الشكل أدناه :



الشكل III-3 حالة جهة الرياح [13]

يتم تمثيل الرياح في خرائط الطقس الجوي بخط ينتهي إلى الدائرة التي تمثل المحطة، ويكون إتجاهها نحو مركز المحطة، أما سرعة الرياح فتظهر على شكل خطوط مائلة على إتجاه الرياح .



الشكل III-4 سرعة وإتجاه الرياح [26]

الرمز	قيمته
	5 عقدة
	10 عقدة
	50 عقدة

الشكل III-5 تمثيل سرعة الرياح في خرائط الرصد الجوي [26] [27]

III - 8 أجهزة قياس الرياح

من أهم الأدوات والأجهزة المستخدمة لقياس سرعة الرياح ومعرفة اتجاهها نجد:

- **جهاز دوران الرياح :**

عبارة عن ذراع حديدي تأخذ شكل السهم المثبت فوق عمود رأسي حديدي، يتزامن دورانه مع السهم بكل سهولة ويسر، يكون العمود والسهم مثبتين فوق عمود آخر ثابت، له ذراعان أفقيان تتجهان نحو الجهات الأصلية يستخدم لتحديد اتجاه الرياح . [24]

الشكل III -6 : جهاز دوران الرياح [29]

- **المرياح**

يعتبر المرياح الأداة الأكثر شيوعا من حيث الاستخدام، يعود الفضل في اختراعه إلى العالم الايرلندي روبنسون عام 1847. ويشار إلى أن هذه الأداة تأخذ أنواعا عديدة ، إلا أن النوع الأكثر استخداما في قياس سرعة الرياح، هو ذلك الجهاز المكون من ثلاثة أو أربعة طاسات (أنصاف كرات) تتخذ شكلا مخروطيا يتصل بقبان يتراوح طولها ما بين [5- 20]سم . {24}

الشكل III-7: جهاز قياس سرعة الرياح [30]

- **جهاز الانيمومتر**

يعتبر جهاز الانيمومتر الجهاز الأشهر في قياس سرعة الرياح ، إلا أن جهاز روبنسون نوع الطاسات هو الأكثر استخداما بين أنواع الانيمومتر ، يتألف هذا الجهاز من أربع طاسات ذات أصل معدني تثبت فوق عمود يدور في محيطه الهواء بشكل أفقي ، تكون سرعة اتجاه الطاسات متناسبة مع سرعة الرياح وقوتها

الشكل III-8 : جهاز الانيمومتر {29}

- **مؤشر اتجاه الرياح**

هو عبارة عن كيس من القماش تعلق على عمود يمكن من خلال معرفة الجهة التي تهب منها الرياح ، تستعمل في المطارات لتحديد اتجاه وسرعة الرياح .

الشكل III -9 :صورة لمؤشر اتجاه الرياح [31]

- **البالونات الإرشادية**

هي بالونات مصنوعة من المطاط عند تشغيلها تملا بغازات خفيفة ، وعند الصعود إلى الأعلى تسجل أدوات القياس، الرياح واتجاهها في نفس الوقت .

الشكل III-10: البالونات الإرشادية [32]

الفصل الرابع:

IV-التنبؤ بسرعة الرياح السطحية بإستخدام خورزميات التعلم الآلي

IV-1– مقــدمة

يستخدم علماء الأرصاد الجوية عددا من النماذج ومصادر البيانات، لتتبع أشكال وحركات الظواهر الجوية الطقسية، منها سرعة الرياح التي تؤدي إلى عواصف شديدة يكون من الصعب مراقبتها .

ونظرا لتعقيد عملية التنبؤ بحالة الطقس في هذه الحالة ، لجــأ العلماء للذكاء الاصطناعي للحصول على نتائج دقيقة وسريعة وإلقاء نظرة سريعة على الشكل الأكثر اكتمالا للغلاف الجوي.ويمكن استخدام الذكاء الاصطناعي لتحسين دقة وموثوقية التوقعات الجوية، وذلك بالاعتماد على خوارزميات التعلم الآلي، التي تلخص قوانين رياضية وأساليب حل المشكلات الحسابية، في مجموعة بيانات واسعة لتحديد الأنماط، ووضع فرضيات، وتعميم البيانات .

يعتمد الذكاء الاصطناعي على لغة الآلة لتفسير حالات الطقس والتنبؤ بها، وهذا يعني إعطاء الحاسوب إمكانية التعلم دون وجود برمجة صريحة في اتخاذ القرار .

من أهم تقنيات تعلم الآلة «Regression».

ولتطبيق هذه التقنية اعتمدنا في دراستنا على لغة البايثون لكونها لغة برمجية قوية، وعلى نموذج ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average) ، حيث يوفر البايثون مع نموذج ARIMA إمكانية عمل تنبؤات مستقبلية بناء على الملاحظات السابقة.

1- نموذج ARIMA: اختصارا لــ(Autoregressive Integrated Moving Average)

هو نموذج إحصائي مصمم لتحليل البيانات والتنبؤ بقيم مستقبلية بناء على قيم سابقة .وتجدر الإشارة إلى أن مبدأ التشغيل لا يزال مشابها لنهج ARMA(**Autoregressive MovingAverage Model**)، مع اختلاف أن الأخير لا يحتوي على الطابع المتكامل ل ARIMA، فحرف '**I**'هنا يرمز إلى درجة التكامل .

ARMA يمكنه فقط تصميم سلاسل زمنية ثابتة وللتغلب على هذه المشكلة تم تطوير نموذج ARIMA.[22]

2- تعريف «Regression»:

في النمذجة الإحصائية فإن«Regression» هو عبارة عن مجموعة من العمليات الإحصائية لتقدير العلاقة بين متغير تابع ومتغير واحد أو أكثر، يستخدم «Regression»في المقام الأول لغرضين مختلفين من الناحية المفاهيم

أولا:يستخدم على نطاق واسع لتنبؤ، حيث يتداخل استخدامه بشكل كبير مع مجال التعلم الآلي .

ثانيا:في بعض الحالات يستخدم لاستنتاج العلاقات النسبية بين المتغيرات المستقلة والتابعة.[22]

يعتمد ARIMAعلى التعلم الإشرافي Supervised Learning Regression ،

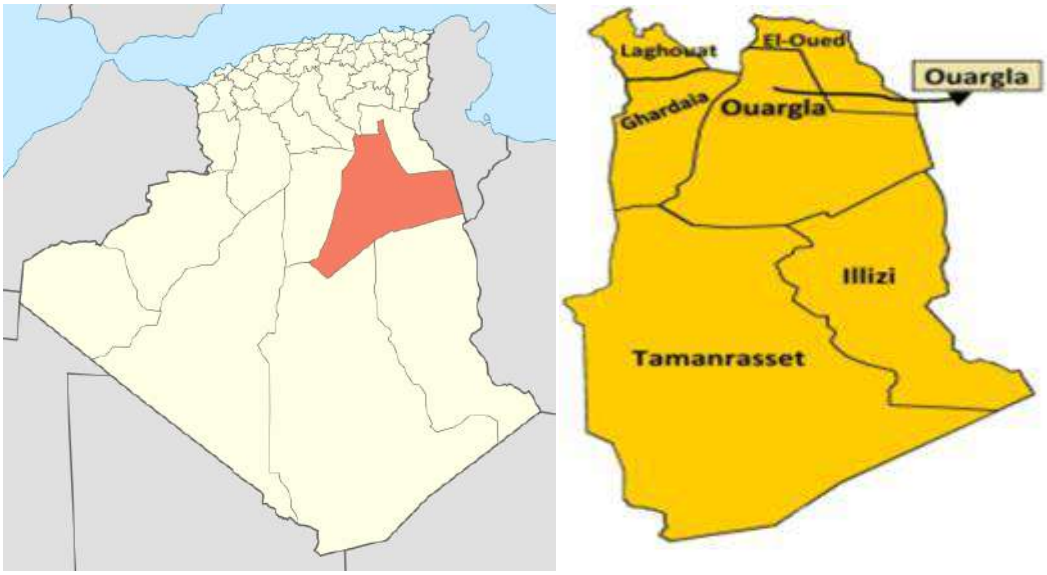
IV- 2- التعرف على منطقة الدراسة

IV- 2-1 نبذة عن مدينة ورقلة

ولاية ورقلة هي إحدى أهم ولايات الجنوب الجزائري، لما تحتويه من ثروات هامة تجعلها شريان الاقتصاد والتنمية في الجزائر.

الموقع: تقع ورقلة في الجنوب الشرقي من الوطن، على خط عرض 31° و 58’ شمالا، وخط طول 5° و20’ شرقا. تغطي مساحة تصل إلى 163233 كم² أي بنسبة 06.85 % من المساحة العامة للقطر الجزائري، وترتفع ورقلة عن سطح الأرض 141 م .[33]

حدود المنطقة : يحد مدينة ورقلة من الشمال ولايتي الجلفة والوادي، ومن الجنوب ولايتي تمنراست وإليزي ، ومن الشرق جمهورية تونس، ومن الغرب ولاية غرداية . [33]



IV -1 حدود ولاية ورقلة [34]

المناخ :

مناخ منطقة ورقلة صحراوي جاف، يتميز بما يلي :

درجة الحرارة:درجات الحرارة بها مرتفعة صيفا حيث تتجاوز °41 في المتوسط، وتنخفض شتاء لاسيما أثناء الليل، فالمناخ هنا قاري يتميز بفوارق حرارية (يومية وفصلية) معتبرة ، تصل إلى حدود °30 مؤوية.

الأمطـــار: مناخ ورقلة يتميز بندرة الأمطار (49 مم) في المتوسط، وهي كغيرها من المناطق الصحراوية تفتقر للغطاء النباتي الطبيعي .

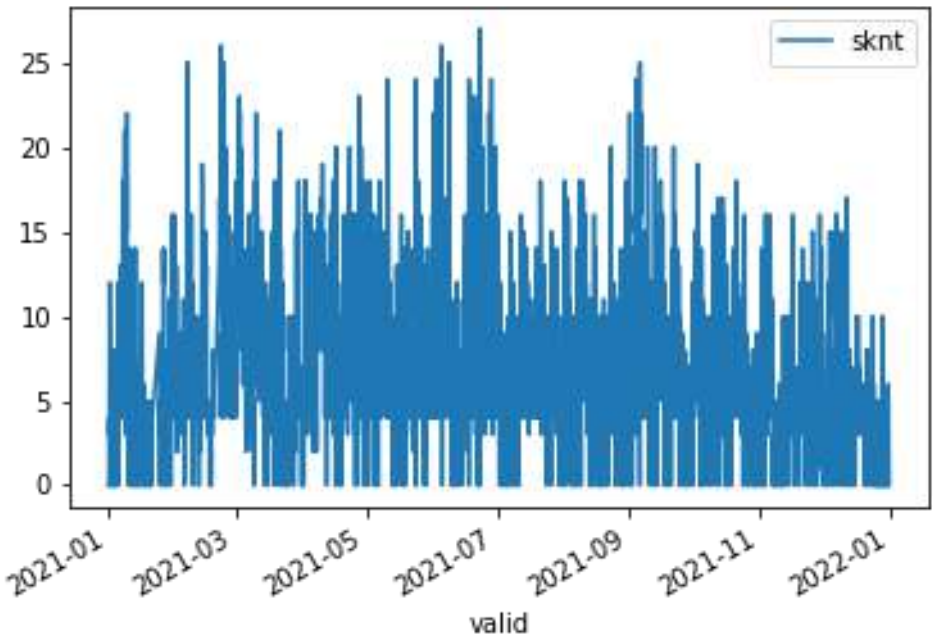
الرياح الموسمية: تهب على ورقلة عواصف رملية موسمية بين شهري فيفري وأفريل، وتبلغ ذروتها في شهر مارس، وغالبا ما تتسبب في خسائر فادحة تصيب الزرع والماشية، ويبدأ الجو في التحسن إبتداءا من شهر سبتمبر عندما يتغير اتجاه الرياح، لتصبح شمالية شرقية، وهي معروفة محليا باسم (البحري)، وهي غالبا ما تكون محملة بشيء من الرطوبة فتعمل على تلطيف الجو. [34]

IV- 3 دراسة وتحليل المعطيات الميدانية لمنطقة الدراسة

من خلال التعرف على مناخ ورقلة، نجد أن الرياح تبلغ أوج نشاطها في شهري مارس وأفريل، وهذا ما تأكده معطيات سرعة واتجاه الرياح المتوسطين المتحصل عليها من مصلحة الأرصاد الجوية لمنطقة ورقلة .

الجدول IV-1- -ملخص حول البيانات : عدد العينات، المتوسط، الانزياح المعياري، اقل قيمة و القيمة العظمى

	عدد البيانات	المتوسط	الإنحراف المعياري	أصغر قيمة	أعظم قيمة
درجة الحرارة(°C)	81068	24.35932	10.60644	-2	59
درجة الرطوبة (g/m³)	76131	4.474761	5.501382	-17	24
سرعة الرياح (kt)	79706	7.422766	5.482495	0	85



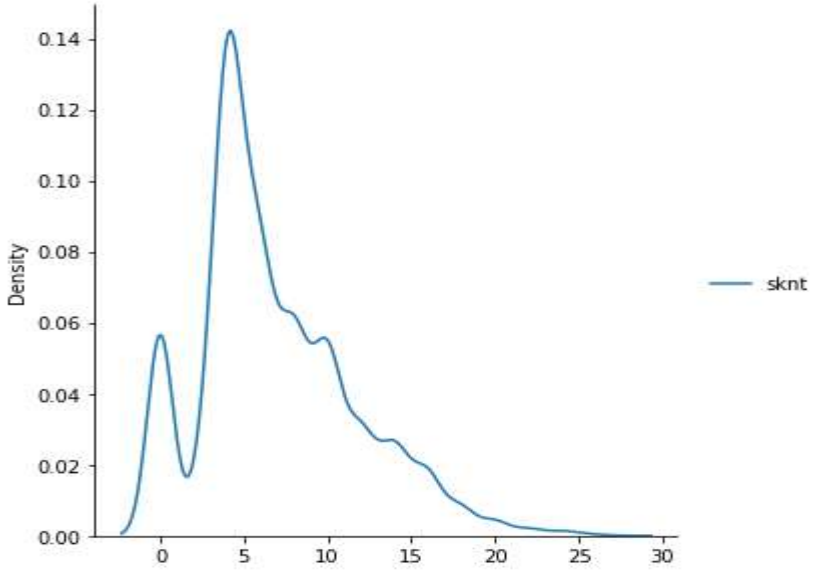
الشكل IV -2رسم البيانات كسلسلة زمنية مع الزمن على محور x و سرعة الرياح على محور y

ان الرياح السائدة في مدينة ورقلة هي التي تهب من جهة الشمال حيث تختلف حسب الفصول :

- في الشتاء : رياح باردة باتجاه الشمال ، الشمال الشرقي والشمال الغربي
- في الصيف: رياح ساخنة وجافة
- في الخريف : رياح الشمال

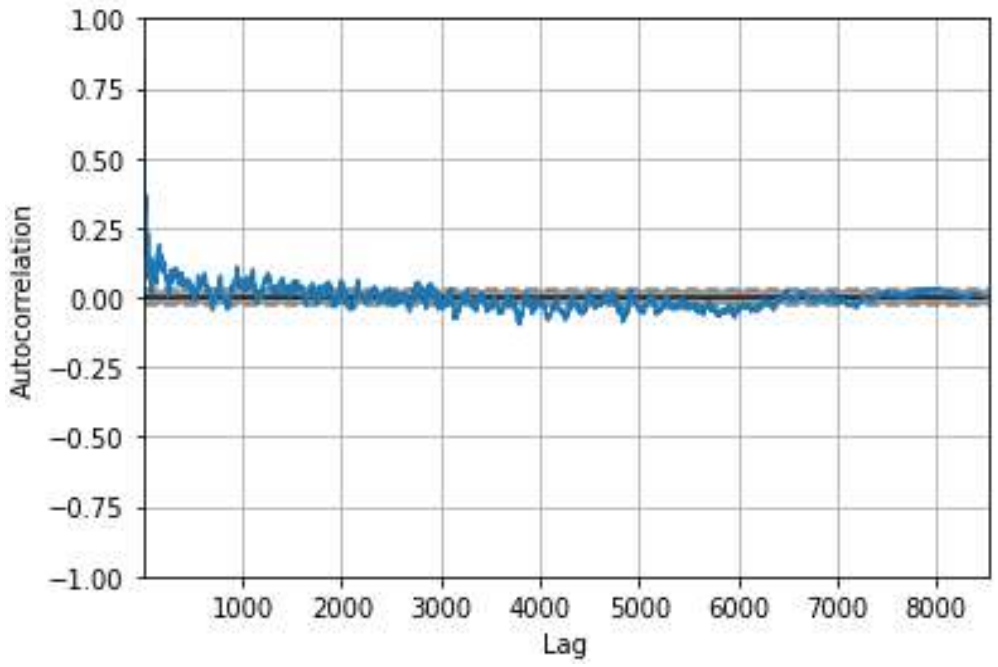
_ تتميز المنطقة برياح فصلية قوية حيث نسجل أن أهم الرياح التي تسود المدينة هي الرياح الشمالية والشمالية الشرقية و الرياح الجنوبية الشرقية ، وهي رياح رملية كذلك نجد الرياح السيروكو (الشهيلي) والتي تشهدها المنطقة تقريبا على السنة هي رياح ساخنة وجافة.

_ من خلال الشكل(IV-2) نلاحظ أن الرياح تستمر من شهر فيفري إلى غاية شهر ماي وتبلغ ذروتها في شهر مارس تقريبا ، ثم تأخذ بالتناقص التدرجي عبر باقي الأشهر حيث تبدأ بالتزايد في شهر سبتمبر.



الشكل IV -3 توزيع كثافة قيم سرعة الرياح

يمثل الشكلIV-3 التغير الزمني لكثافة قيم سرعة الرياح المرصودة في المنطقة خلال شهر حيث نلاحظ تدبدب في سرعة الرياح إذ تبدأ في الصعود إلى أن تبلغ ذروتها ثم تعود للنزول إلى الصفر.



الشكل IV- 4 منحنى الترابط الذاتي auto corrélation

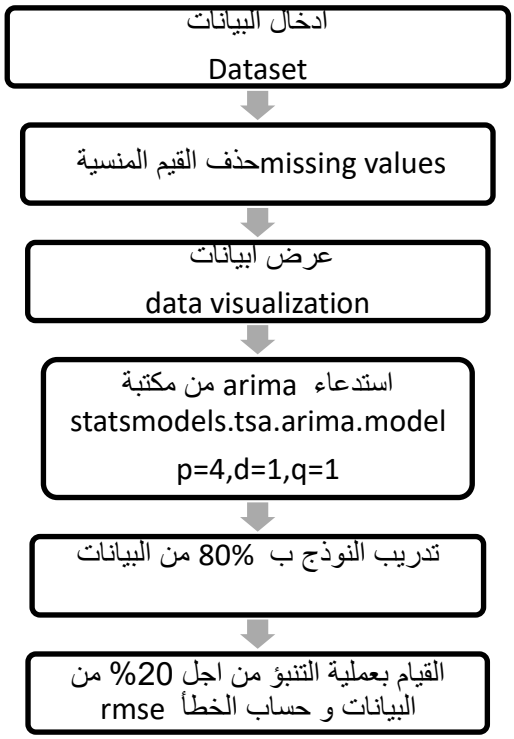
نلاحظ من منحنى الترابط الذاتيIV-4 قيم (pP-value) تتغير بجوار الصفر وهذا يدل على أن قيم الرياح عشوائية بالنسبة للزمن.

IV- 4النموذج:

استخدمنا نموذج ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average).

فبعد إدخال data نقوم بتقسيم البيانات، الأولى 80% لهدف تدريب النموذج ARIMA « Training »، و20% الثانية للتنبؤ التلقائي « ARIMA Testing ». ونقوم بفرز القيم وحذف القيم المنسية (data clearing)ونظرا لكبر المجال التي تتغير فيه قيم سرعة الرياح نقوم بتغيير هذا المجال إلى القيمة المحصورة بين [-1,1] .

مخطط عمل نموذج ARIMA:



استدعاء نموذج arima:

```
from statsmodels.tsa.arima.model import ARIMA
df.index = df.index.to_period('h')
model = ARIMA(df, order=(4,1,1))
model_fit = model.fit()
print(model_fit.summary())
```

عملية تدريب النموذج و التنبؤ:

```
from sklearn.metrics import mean_squared_error
import warnings
from statsmodels.tools.sm_exceptions import ConvergenceWarning
warnings.simplefilter('ignore', ConvergenceWarning)
x = df.values
size = int(len(x) * 0.80)
train, test = x[0:size], x[size:len(x)]
index = index [size:len(x)]
history = [x for x in train]
predictions = list()
for t in range(len(test)):
    model = ARIMA(history, order=(4,1,1))
    model_fit = model.fit()
    output = model_fit.forecast()
    yhat = output[0]
    predictions.append(yhat)
    obs = test[t]
    history.append(obs)
```

IV- 5النتائج:

جدول 2:

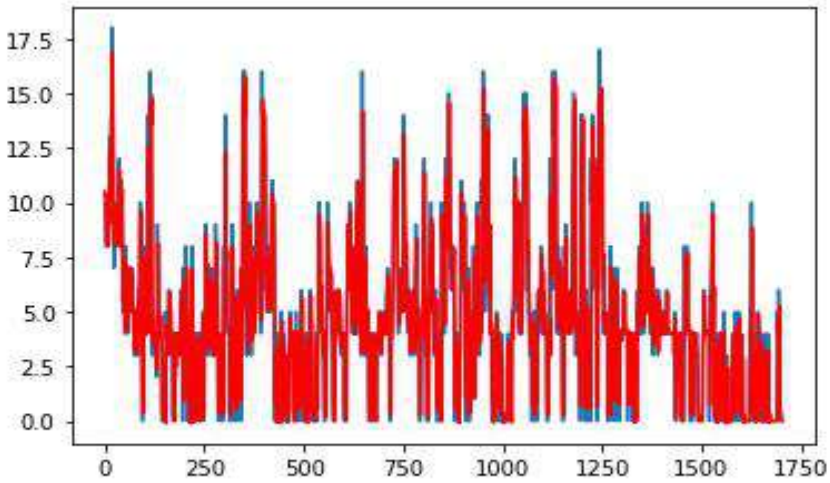
بعد تطبيق نموذجARIMA(p,d,q) لدينا درجة جزء الانحدار الذاتي p=4 و درجة جزء المتوسط المتحرك q=1 والفروق من الدرجة d=1 [ARIMA(4,1,1)]

نستنتج بعض النتائج:

2-IV جدول لبعض القيم المتنبئ بها باستعمال ARIMA و القيم المقاسة في فترات زمنية متفرقة

الزمن	القيمة المتوقعة ب ARIMA	القيمة المقاسة
2021-10-19 21:00:00	10.498257	10
2021-10-21 21:00:00	6.19231	6
2021-10-24 23:00:00	3.907872	4
2021-11-09 00:00:00	0	0
2021-11-10 00:00:00	0	0
2021-11-10 05:00:00	0.009255	0
2021-11-18 04:00:00	4.021752	4
2021-11-22 00:00:00	4.001858	4
2021-11-24 11:00:00	9.438881	9
2021-11-25 06:00:00	12.175901	12
2021-12-01 09:00:00	0	0
2021-12-01 21:00:00	3.001713	3

يمثل الجدول (IV-2) التغير الزمني خلال فترة الدراسة من 10/19 إلى 2021/12/01 لقياس الرياح القصوى و الدنيا والمتوسطة باستعمال نموذج ARIMA تبين النتائج أن قيمة الرياح المحسوبة من طرف البرنامج تتبع نفس سلوك التغير الرياح المرصودة خلال فترة الدراسة .



الشكل IV -5 يبان يوضح القيم المتوقعة (أزرق) مقارنة بالتنبؤات (أحمر)

نلاحظ من المنحنى في الشكل IV- 5 تطابق منحني القيم المتوقعة(الأزرق) مع منحنى القيم المتنبئة(الأحمر).والتغير منتظم في هذه الفترة.

- باستعمال قانون الخطأ النسبي الذي يقيس حجم الخطأ في التنبؤات، وذلك بأخذ الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الفروق بين القيم الفعلية وقيم التنبؤ، كما هو موضح في المعادلة التالية :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(Yt-Yt')^2}{N}} \qquad (IV-5-1).$$

Y: هي القيم الصحيحة .

Y': هي القيم المتوقعة .

بعد توقع 1703 حالة باستخدام ARIMAوجدنا قيمة الخطأ في النموذج المنجز تقدر بـــ RMSE=2 .114، وهو هامش خطأ مقبول و يمكن تحسينه أكثر.

خاتمة عامة

الخلاصة العامة

تعد طاقة الرياح مصدرًا مهمًا ومؤهلًا له القدرة على إنتاج الطاقة بطريقة مستمرة ومستدامة من بين مصادر الطاقة المتجددة. ومع ذلك، فإن طاقة الرياح تواجه العديد من التحديات، مثل تكاليف الاستثمار الأولية، وصعوبة العثور على مناطق تكون فيها طاقة رياح فعالة. في هذه الدراسة، تم إجراء تنبؤ لسرعة الرياح في منطقة ورقلة في الجنوب الشرقي للجزائر وذلك بالاعتماد على بيانات سرعة الرياح اليومية باستخدام خوارزمية ARIMA.

المساهمة الرئيسية لهذه الدراسة هي توقعات سرعة الرياح في منطقة ورقلة على المدى القصير (شهرين ونصف تقريبا) بناءً على قيم سرعة الرياح في الأشهر السابقة من السنة وذلك لاستخدام خوارزميات التعلم الآلي.

تم توقع سرعة الرياح من بيانات مسجّلة سابقة، بحيث تم جمع أكثر من 8700 عينة من البيانات لسرعة الرياح مسجّلة كل ساعة لمدة سنة واحدة (2021) من محطة الأرصاد الجوية بورقلة، ثم تم تقسيم البيانات إلى مجموعة تدريب تمثّل 80٪ من العينة، ومجموعة اختبار تمثل 20٪ من العينة، وذلك من أجل تجريب الخوارزمية ARIMA. لقياس دقة الخوارزمية تم استخدام قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الفروق (RMSE)، والذي وُجد مساويا للقيمة 2.114، وهو يّمثّل هامش خطأ مقبول ويمكن تحسينه أكثر لاحقا.

من خلال النتائج التي توصلنا إليها في هذا العمل، نرى أنه يمكن استخدام خوارزميات التعلم الآلي للتنبؤ بقيم سرعة الرياح على المدى القصير بالاعتماد على بيانات سرعة الرياح السابقة.

قائمة المراجع

المراجـــــع

[1] – https://unfccc.int/sites/default/files/arabic_paris_agreement.pdf, Consulté le 05/06/2022

[2]-Jaume Manero et al ,Deep Learning is blowing in the wind. Deep models applied to wind prediction at turbine level,2019 J. Phys.: Conf. Ser. 1222 012037

[3]– H. Demolli, et al.Wind power forecasting based on daily wind speed data using machine learning algorithms,Energy Conversion and Management 198 (2019) 111823

[4] - كريم يبو، آلية التحول الطاقوي بالجزائر لتحقيق التنمية المستدامة: بين الواقع والمأمول، الرواق، المجلد 07، العدد:02 (2021)، ص 241-259.

[5]- CEREFE, Transition Energétique en Algérie : Leçons, Etat des Lieux et Perspectives pour un Développement Accéléré des Energies Renouvelables, (Edition 2020, Premier Ministre, Alger.p04.

[6] - https://www.cder.dz/spip.php?article3584 Consulté le 05/06/2022

[7] - تقرير الأمين العام أ.أ.أ.و الجمعية العامة للمجلس الإقتصادي والإجتماعي 2001

[8] - أ. خالد الشحام و أ. سليم حمام . المدرسة العربية www.schoolarabia.nat

[9] - مقتطف من كتاب Complete IDIOT'S Guidé TO Weather بقلم الدكتور ميل غولدشتاين عن موقع infoplease.com

[10] - محاضرة في التنبؤ الجوي. د.سامية على مبروك . كلية التربية – قسم الجغرافية .

[11] - كتاب " Météorologica" للكاتب أرسطو.وفقا لموقع The.Guardian

[12] - كتاب الدليل "Signs " للكاتب ثيوفراستوس تلميذ أرسطو https://net.arabicpost

[13] - بحث حول معادلات ونماذج التنبؤ بالطقس – جلال الحاج عبد – 2016-10-20 عن موقع الفريد في الفيزياء

[14] - غراب زينب و بوجريو إسراء تقييم أداء النموذج الشامل GFS لتنبؤ بدرجات الحرارة القصوى والدنيا على مناطق مختارة من الجزائر ، ماستر اكادمي جامعة ورقلة 2021.

[15] - تقرير التنمية المستدامة والعمل اللائق والوظائف الخضراء – مؤتمر العمل الدولي جنيف – دورة 2013 صفحة 59

[16] - Les modèles mètèorologiques –Cours mètèo وفقا لموقع :
https://www.meteocontact.fr

[17] - https://www.noaa.gov

[18] - تقرير تربصي بالمديرية الجهوية للأرصاد الجوية بورقلة من إشراف الأستاذ هبال بلخير

[19] - weather prédiction https://en.wiKipedia.org/wiKi/Numerical

[20] - Consulté le 03/04/2022 https://www.techniques-ingenieur.fr

[21] - كتاب طرق التنبؤ الإحصائي (الجزء الأول) تأليف : د. عدنان ماجد عبد الرحمان بري. أستاذ الإحصاء وبحوث العمليات. جامعة الملك سعود .جانفي 2002

[22] - كتاب فعالية التنبؤ باستخدام النماذج الإحصائية في اتخاذ القرار ،للكاتب رابح بلعباس الصفحات 5 ، 6 ، 7 .

[23] - ويكيبيديا .موسوعة حرة

[24] - محاضرة الرياح ل الدكتور أوراس غني عبد الحسين – جامعة بغداد .كلية التربية للبنات – جغرافيا الطقس والمناخ

[25] - موسوعة عالم الطقس – محمد الحو باحث في الأرصاد الجوية – تاريخ النشر 11-04-2016

[26] - كتاب الطقس والمناخ والأرصاد الجوية .للمؤلف حسام حسن الزغبي

[27] - الدكتور أحمد أحمد الشيخ – كتاب بعنوان الأرصاد الجوية – جامعة المنصورة كلية التربية قسم المواد الإجتماعية 2004

[28] - رموز سرعة واتجاهات الرياح في خرائط الطقس – مركز الصافية

[29] - http://www.paldf.net/forum/showthread.php ? t=1102274&pag

[30] - http://3llom.blogspot.com /2012/02/blog-post_03.htm

[31] - https://www.google.com/search?q= بالون + الطقس

[32] – Dr.John Peterson(25-07-2018)/"Devices That Measure Wind Speed www.sciencing.com /Retrieved 12-09-2018

[33] – موقع مديرية التجارة وترقية الصادرات لولاية ورقلة

[34] - الموقع الرسمي لجامعة قاصدي مرباح ورقلة على موقع واي باك ماشين

الملخص :

في هذا العمل، تم استخدام خوارزميات التعلم الآلي للتنبؤ بسرعة الرياح في منطقة ورقلة، الجنوب الشرقي للجزائر. تم توقع سرعة الرياح من بيانات مسجلة سابقة،حيث تم تجميع أكثر من 8700 عينة من البيانات لسرعة الرياح المسجلة كل ساعة من محطة الأرصاد الجوية بورقلة لسنة 2021. تم تقسيم البيانات إلى مجموعة تدريب 80٪ ومجموعة اختبار 20٪ لتجربة الخوارزمية ARIMA. تم استخدام قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الفروق (RMSE) لقياس دقة الخوارزمية. وجدنا أن قيمة الخطأ في النموذج RMSE= 2 .114، وهو هامش خطأ مقبول ويمكن تحسينه أكثر.

الكلمات المفتاحية: سرعة الرياح، التنبؤ بالطقس، النماذج الإحصائية، تعلم الآلة، ورقلة

Résumer :

Dans ce travail, un algorithme d'apprentissage automatique a été utilisé pour prédire la vitesse du vent dans la région d'Ouargla, au sud-est de l'Algérie. La vitesse du vent a été prédite à partir des données enregistrées antérieurement. Plus de 8 700 échantillons de données horaires sur la vitesse du vent ont été collectés à partir de la station météorologique d'Ouargla pour l'année 2021. Les données ont été réparties en 80 % d'ensemble d'entraînement et 20 % d'ensemble de test pour expérimenter l'algorithme ARIMA. Les valeurs de L'écart quadratique moyen (RMSE) ont été utilisées pour mesurer la précision de l'algorithme. Nous avons constaté que la valeur d'erreur du modèle est RMSE = 2,114, ce qui est une marge d'erreur acceptable et peut être encore améliorée.

Mots-clés : Vitesse du vent, Prévision météorologique, Modèles statistiques,

Abstract :

In this work, a machine-learning algorithm was used to predict wind speed in the region of Ouargla, southeast of Algeria. Wind speed was predicted from previous recorded data. More than 8,700 samples of hourly wind speed data were collected from the Meteorological Station of Ouargla for the year 2021. The data were splitinto 80% training set and 20% test set testing set to experiment with the ARIMA algorithm. Root Mean Square Error (RMSE) values were used to measure the accuracy of the algorithm. We found that the error value of the model is RMSE = 2.114, which is an acceptable margin of error and can be further improved.

Keywords: Wind speed, Weather forecasting, Statistical models, Machine learning, Ouargla