

یخبندان در خاک

انتقال بخار آب به قسمتهای سرد زمین ، به محض اینکه زمین یخ می زند ، ابعاد زیادی کسب کرده و اهمیت علمی زیادی پیدا می کند . یخ زدن زمین برای کشاورزان از یک طرف مغتنم است ، زیرا ذرات درشت زمین فاقد پوشش گیاهی ، در اثر تکرار ذوب و انجماد ، ساختمان مساعدی پیدا می کند که می توان آن را به « شخم ناشی از یخبندان » تعبیر کرد . از طرف دیگر کشاورزان از خسارت زمستانی ناشی از یخبندان در زمینی که بذر پاشی شده است بیمناکند ؛ زیرا در اثر یخبندان جوانه های تازه از زمین کنده شده یا ریشه های آن پاره می شود . در امر جاده سازی با توجه به تراکم و فشار وسایط نقلیه ، یخبندان بوجود می آید می تواند باعث تخریب روکش خیابانها شود . این بر آمدگی زمین که متعاقب یخبندان جاده ها ، نمودی بشدت ترسناک پیدا می کند . برآمدگی پس از ذوب یخ از بالای لایه پر آبی که مقاومت بسیار ضعیفی داراست ، روی بقای یخ حاصل می شود . با توجه به اهمیت اقتصادی که مسأله یخبندان داراست ، درباره خسارت آن در امر جاده سازی تحقیق و تحلیل همه جانبه ای انجام گرفته است که از ذکر همه جزئیات آن در اینجا خوداری می شود .

آب در زمین در دمای صفر درجه سانتیگراد منجمد نمی شود . به زعم دوکلی¹ کاهش نقطه منجمد به نسبتی که آب در زمین کمتر بوده و بافت آن ظریفتر باشد ، بیشتر است . هنگامی که دمای زمین پایین می آید ، ابتدا قسمتهای متحرک آب درون منافذ سپس لایه آب آزادتری که به دور ذرات خاک جمع شده ، یخ می زند . در مرحله نهایی آبهای جذب شده در ظریفترین منافذ خاک دستخوش یخبندان می شود . این قسمت حتی ممکن است مصون از یخبندان باقی بماند . آب منافذ بتون تازه ، در دمای ۳- تا ۴- درجه سانتیگراد منجمد می شود . برای بسیاری از مسائل هواشناسی وقوف به این نکته که آیا طی شب زمین حقیقتاً یخ زده است یا نه ، امری ضروری است ؛ زیرا حداقل ، این موضوع از درجه حرارت دماسنج قابل تشخیص نیست .

گاهی اوقات ، هنگامی که دمای هوا زیر صفر درجه سانتیگراد قرار دارد و قبل از اینکه زمین بدرستی یخ زده باشد ، پدیده جالبی بروز می کند . این پدیده بنام یخ شانه معروف بوده و به آن یخ ساقه ای ، مویی ، سوزنی هم گفته می شود . یخ شانه معمولاً در زمینهای مرطوب و سست ، غالباً خاکهای لیمونی یا شنی لیمون دار و بیشتر در دامنه هایی که

¹ Duckli

خوب زهکشی شده و آب در آنها جاری است یا در حاشیه راهها و مخصوصاً در جنگل و روی بقایای برگهای سوزنی و سطح پوشش برگهای سوزنی جنگلها و اشجار فاسد و مشابه آنها جاری است یا در حاشیه راهها و مخصوصاً در صورت عمودی یا قدری خمیده به تعداد زیادی در مجاور یکدیگر از سطح زمین رشد می کنند که هیئتی شبیه شانه پیدا می کند. آنها باعث برافراشتگی خار و خاشاک، ذرات خاک و سنگها تا چندین سانتیمتر از سطح زمین می شوند. فوکودا^۱ شرایط رشد آنها را بسیار دقیق و بیشتر بصورت علمی تحقیق کرده است. تشکیل آن بویژه هنگامی تسهیل می شود که متعاقب یک باران (گرم)، ناگهان یخبندانی شدید در هوای بدون باران شود. وجود آب کافی در زمین، سنجاقکهای بلوری را از پایین تغذیه می کنند. تشکیل کریستالهای یخ و اختلاف دما باعث انتقال و کشش آب می شود. سنجاقکهای مزبور در بدو امر بسیار سریع ساخته می شود. رشد آنها در وهله نخست مربوط به لایه فوقانی خاک تا عمق ۱۵ سانتیمتر است، در حالی که مقدار آب موجود در زیر لایه ۳۰ سانتیمتری خاک نقش در ایجاد و تکوین آنها ایفا نمی کند. یخ شانه ها می تواند در زیر لایه ای برفی هم تشکیل شود. معمولاً ارتفاع سنجاقکهای بلوری از یکی دو سانتیمتر تجاوز نمی کند. اما سنجاقکهای ۱۵ و در شرایط استثنایی تا ۵۰ سانتیمتری هم مشاهده شده است. هر گاه ادامه سرمای زمستانی به یخ زدگی زمین منجر شود، تغییرات چند جانبه ای در شکل زمین روی می دهد. باید اشاره کرد که حجم مخصوص آب صفر درجه ۱ و یخ صفر درجه ۱/۰۹ سانتیمتر مکعب برای هر گرم است. این افزایش حجم که تقریباً معادل ۱۰ درصد است، باعث جا کن شدن و ور آمدگی زمین می شود که در ذیل به آن پرداخته می شود.

گرمای ویژه یخ دردمای صفر درجه سانتیگراد معادل ۰/۵۰۵ کالری بر گرم در درجه سانتیگراد بوده و تقریباً نصف مقادیر آب را شامل می شود. با ایجاد بلورهای یخ گرمای زمین^۲ کاهش می پذیرد که میزان آن به مقدار آب موجود وابسته است. از آنجا که حجم مقدار یخ معادل ۱/۰۹ حجم آب و بعبارت دیگر $V_e = 1/09 V_m$ است و با توجه به این فرض که هوای منافذ خاک می تواند این افزایش حجم را بپذیرد، بنابراین گرمای حجمی زمین یخ زده به صورت ذیل محاسبه می شود:

$$(QC) = 0/01 (VsCsQs + 0/05 Vw)$$

{ کالری بر سانتیمتر مکعب در درجه سانتیگراد }

^۱ Fukuda

^۲ گرمای حجمی زمین عبارت است از کالری مورد نیاز یک سانتیمتر مکعب خاک برای افزایش دمای آن در حد ۱ درجه سانتیگراد.

در این فرمول V_s در صد حجمی مواد تشکیل دهنده خاک ، Q_s چگالی ، C_s گرمای ویژه و V_w در صد حجمی آب خاک است ؛ مثلاً گرمای حجمی زمین شنی یا با چگالی معادل $2/63$ گرم در سانتیمتر مکعب و گرمای ویژه معادل $0/20$ کالری بر گرم در درجه سانتیگراد با توجه به این فرمول ، طبق محاسبه ذیل بدست می آید :

در صد حجمی میزان آب: $0, 10, 20, 30, 40, V_w$

در صد حجمی میزان یخ: $0, 11, 22, 33, 44, V_e$

گرمای حجمی زمین یخ زده: $0/30, 0/40, 0/50, 0/60, 0/70, m (QC)$

کالری بر سانتیمتر مکعب در درجه سانتیگراد

گرمای حجمی زمین یخ زده: $0/30, 0/36, 0/41, 0/47, 0/52, m (QC)$

کالری بر سانتیمتر مکعب در درجه سانتیگراد

با توجه به سنجشهای انجام شده مشخص است که قابلیت هدایت گرمایی یخ نسبت به آب حدوداً ۴ برابر بیشتر است . به این دلیل قابلیت انتشار حرارتی نیز زیاد است . اما چون گرمای حجمی آب - همانگونه که این محاسبه نشان می دهد - در حالت یخ زده کمتر است ، افزایش انتشار حرارتی خاک در شرایط وجود یخ به گونه ای اضافی تقویت می شود . می توان بر آورد کرد که با ظهور یخبندان ، قابلیت انتشار حرارتی زمین حدوداً ۲۰ تا ۵۰ درصد افزایش می یابد . این موضوع که با انجماد هر گرم آب ، حدوداً $79/5$ کالری - که گرمای ذوب نامیده می شود - آزاد می شود ، برای مجموع مبادلات گرمایی ، حایز اهمیت فراوان است .

یخبندان درون زمین ، نیز بدون ارتباط با تغییرات دمای روزانه در سطح آن ، باعث می شود که گرادیان فشار بخار آب غالباً از قسمت یخ زده زمین به سمت بالا جریان داشته باشد ، بنابراین آب نه تنها بصورت مکش صعود می کند ، بلکه بصورت بخار آب متحرک موجود در منافذ زمین نیز به سمت بالا جریان می یابد . آبی که از زیر در این لایه یخ زده تجمع می یابد ، به نسبتی منجمد می شود که گرما و مقادیر آزاد شده 80 کالری به ازای انجماد هر گرم آب بتواند انتقال یابد . تجربه نشان می دهد که دما بصورت متوسط در لایه همگن یخ زده ، بصورت خطی با ارتفاع کاهش می یابد . یخبندان زمستانی ، زمین همگن را به زمین دو لایه ای تبدیل می کند .

بوضوح می توان در نمودار ۱۱-۲ ، تغذیه لایه منجمد بالایی زمین را بوسیله آب مشاهده کرد . این نمودار مشخصات رطوبت خاک را در ارتباط با یخبندان ژانویه در حاشیه

رودخانه راین نشان می دهد. مستطیلهای نمودار معرف عمق یخبندان در زمین است. طی مدت یک ماهه بررسی، مجموعاً ۲ میلیمتر باران ریزش کرده است که نمی تواند تأثیر زیادی بر حرکت آب در زمین داشته باشد. گرچه در نیمه دوم دسامبر زمین مزبور از طریق باران رطوبت کافی بدست آورده است. با این حال خطوط هم رطوبت (به در صد وزنی) در لایه یخ زده بوضوح نشان می دهد که افزایش آن حاصل انتقال رطوبت از لایه یخ زده پایین بوده است. در صورتی که تغییرات رطوبت را از روز ۳۰ دسامبر ۱۹۵۲ تا ۱۶ ژانویه ۱۹۵۳ برای جرم ستونی از زمین به مقطع یک سانتیمتر مربع محاسبه شود، میزان آب در یافتی در محدوده قشر یخ زده زمین حدود ۲/۱۴ گرم و آب از دست رفته برای لایه زیر تا عمق ۵۰ سانتیمتر حدود ۲/۰۸ گرم بدست، می آید.

انتقال آب به بالاترین لایه نیم متری حدود ۱۰ برابر بیشتر از بارانی بوده که در ژانویه به سطح زمین باریده است. آب تا حدودی به عمق زمین نفوذ کرده است (هم رطوبت ۲۰ در صد). اما قسمت اعظم آن بوسیله سطح زمین در جو تبخیر شده است. تکرار انجماد و ذوب آب در زمین باعث خشکی آن می شود که برای کشاورزی تهدید کننده است.

تشکیل یخبندانهای همگن از یخبندانهای عدسی شکل متمایز است. در خاکهایی که فاقد چسبندگی بوده و قطر ذرات آنها حدوداً به ۰/۰۵ میلیمتر می رسد، یخبندان همگن بوجود می آید. در این زمینها خاکدانه ها با قشر یخ پوشیده و از این طریق با هم پیوند پیدا می کند. اما همان گونه که بوسیله متخصصان امور جاده سازی دقیقتر بررسی شده است. لایه های اصلی زمین می تواند به دلایل گوناگون جابجا شده و عدسکهای یخی تشکیل شود. آنها از یخهای شفاف تشکیل شده و بیشتر ساختمانی رشته ای و عمودی بدست می آورند که گاهی حفره های هوا را در خود محبوس دارند. عدسهای یخی در ابعاد متفاوتی بوجود می آید و از ذرات میکروسکوپی تا ابعادی در حد ۲۰ و در موارد نادر تا ۳۵ سانتیمتر دیده شده است. فراوانی و عمق یخبندانهای زمستانی به چگونگی هوای حاکم بستگی دارد. اونگر^۱ با توجه به ارقام دهساله دمای زمین در یک ایستگاه عرض میانه، متوسط فراوانی یخبندانها را برای اعماق صفر، ۲۰ و ۵۰ سانتیمتری محاسبه و ترسیم کرده است. در محل مزبور یخبندان در سطح زمین از نوامبر تا اواسط آوریل ظاهر می شود و در واقع از ۶۰ در صد روزهای زمستانی فراتر می رود. در عمق ۵۰ سانتیمتری این رقم بندرت از ۱۰ در صد

¹ Unger

تجاوز می کند . زودترین زمان شروع یخبندان در این عمق اول ژانویه بوده و در اواسط آوریل خاتمه می پذیرد .

جدول ۲-۲ فراوانی و شدت یخبندان در دو عمق متفاوت خاک در شرایط عدم پوشش برف در یک ایستگاه عرض میانه

زمستان	طول یخ در عمق ۱ متر	بندان (روز) در عمق ۰/۵ متر	در عمق ۱ متر	در عمق ۰/۵ متر
۱۸۹۵-۱۸۹۴	۶	۳۲	-۰/۲	-۰/۱
۱۹۰۱-۱۹۰۰	۸	۲۱	-۰/۳	-۶/۵
۱۹۱۷-۱۹۱۶	۲	۳۸	-۰/۱	-۴/۷
۱۹۲۲-۱۹۲۱	۱۰	۳۳	-۰/۳	-۵/۲
۱۹۲۹-۱۹۲۸	۳۶	۶۳	-۲/۷	-۹/۶
۱۹۴۰-۱۹۳۹	۴۱	۵۸	-۱/۶	-۷/۴
۱۹۴۲-۱۹۴۱	۴۰	۶۴	-۱/۱	-۷/۶
۱۹۴۷-۱۹۴۶	۵۱	۸۰	-۱/۷	-۸/۱

منبع : هاوس مان ^۱ ، ۱۹۵۰

بیشترین عمق نفوذ یخبندانهای زمستانی که برای کانال کشی لوله های حساس (مثلاً لوله های آب) ، اهمیت اقتصادی زیادی دارد از سالی به سال دیگر نوسان زیادی دارد . در این زمینه طول زمان و ارتفاع پوشش برف تعیین کننده است . در حقیقت زمستانهای کم برف از همه خطرناکتر است .

این ارقام ، همزمان اثر حفاظتی برف را بوضوح نشان می دهد . اما سنجشهای دراز مدتی را که تاپرچر ^۲ در وین در شرایط متعارف پوشش برف زمستانی ، در زمین رسی آهک دار همراه با لایه هوموس به ضخامت ۳۰ سانتیمتر انجام داده است ، حاکی از این واقعیت است که دما در عمق نصف دماسنج ، یعنی ۹۸ سانتیمتری هرگز به زیر نقطه انجماد نزول نکرده است . عمق نفوذ یخبندان طی ۳۴ سال دیده بانی یکبار به ۸۰ ، چهار بار به ۷۰ ،

1. Hausmann

2. Taperczer

نه بار به ۶۰ و دوازده بار به ۵۰ سانتیمتر رسیده است. بنابراین ۲/۳ یخبندان از عمق نیم متری تجاوز نکرده است. بدیهی است که نوع زمین، به مقدار زیاد، یخبندان زمین را تحت تأثیر قرار می دهد. زمین مرطوب، بدلیل آزاد کردن گرمای ذوب، نسبت به زمین خشک، آرامتر و در عمق کمتری یخ می زند. همچنین ذوب یخهای مزبور در بهار کندتر انجام می شود.

نمودار ۱۲-۲ دوام و عمق یخبندان زمستان سرد را بین سالهای ۱۹۳۹ و ۱۹۴۰ در چهار نوع زمین مختلف ایستگاه هوا شناسی کشاورزی شهر گیسن^۱ نشان می دهد. این بررسی را کرویتز^۲ انجام داده است. سطوح روشنتر نمودار معرف محدوده دمای منفی تا ۴- درجه سانتیگراد و سطوح تیزتر معرف دمای کمتر از ۴- درجه سانتیگراد است در سنگریزه های خشک بازالتی، یخبندان با سرعت متوسط ۲ سانتیمتر در روز و تا عمق ۶۷ سانتیمتر نفوذ کرده است. اما در روز ۲۵ فوریه، تمام آن زمین عاری از یخبندان بوده است. در زمین هوموس مرطوب سرعت نفوذ، تنها ۰/۶ سانتیمتر در روز بوده و یخبندان تا عمق ۳۲ سانتیمتری نفوذ کرده است اما ابتدا در روز ۲۲ مارس یخبندان در زیر سطح زمین مزبور که یخهای روی سطح آن مدتها پیش ذوب شده، بطور کلی محو شده است. برای اهداف مربوط به احداث جاده ها مسأله عمق نفوذ و شدت یخبندان و بررسی همه جانبه آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

در اثر افزایش ۹ در صد حجم آب در مواقع انجماد و همچنین ایجاد عدسکهای بلوری، در زمین طبیعی سرمازدگی شدید بوجود می آید. در روکش سخت خیابانها بر آمدگی، ور آمدگی، شکاف و سایر خسارات یخبندان ظاهر می شود. در اینگونه موارد بر آمدگی سطح خیابانها تا چندین دسیمتر نیز مشاهده شده است. البته حرکات مزبور در زمینهای طبیعی کرات کندتر انجام می گیرند. محاسبه ذیل که حاصل بررسی فلایشمان^۳ در مجارستان است، تصویری از این موضوع بدست می دهد:

آماس به میلیمتر در ۲۴ ساعت: ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰، ۲۰-۲۵

تعداد موارد: ۵۷، ۳۸، ۴، ۳، ۲

کرشمر^۴ و شمید^۵ با توسل به روشهای بهتری به ایت نتیجه رسیدند که حرکات ناشی از سرمازدگی زمینهای زراعی، در طول روز از ۲۴ میلیمتر و در طول زمستان از ۳۶ میلیمتر تجاوز نکرده است.

1. Gicssen

2. Kreutz

3. Fleischman

4. Kerschmer

5. Schmidt

نمودار ۱۳-۲ حاصل اندازه گیری های مستمر کرشم در زمین خشک و سست زراعی در حوالی ناحیه ینا^۱ است که در طول زمستان سالهای ۱۹۵۴ و ۱۹۵۵ انجام گرفته است. این اندازه گیریهای سه دوره مشخص زمانی را نشان می دهد. مقارن با تعویض سال با بروز یخبندان خشک، اولین حرکت شدید بر آمدگی که معرف آغاز زمستان است انجام گرفته است. منحنیهای مربوط به دو دستگاه ثبات که در نمودار مزبور مشاهده می شود، تنها از نظر مقدار و نه نوع یخ زدگی با یکدیگر اختلاف دارد. در آغاز ژانویه ریزش برف شروع شده است، بطوری که ضخامت آن در روز سوم به ۱۲ سانتیمتر رسیده و به این دلیل بر آمدگی ناشی از یخبندان در زمین متوقف شده است. در دوره بین ۲۲ تا ۲۵ ژانویه ۱۹۵۵، هوای یخبندان، با ذوب کوتاه مدت در ساعات نیمروز توأم بوده است. بنابراین با هر نوبت آب شدن، زمین در مواقع ظهر نشست کرده و ذرات آن نسبت به هم فشرده تر شده است. در هوای گرم بین ۲۸ تا ۳۱ ژانویه که توأم با یخبندانهای کوتاه شبانه بوده مزبور، جوانه های غلات یا گیاهان جنگلی از ریشه بدر آمده که متعاقباً خشک یا سرما زده می شوند.

در تکمیل مطالبی که درباره دما و رطوبت زمین ارائه شد، باید اشاره شود که هر بیننده کنجکاوی با توجه به سه فرایند هواشناسی می تواند خصوصیات زمین را در رابطه با تراز گرمایی مستقیماً نظاره کند که شامل ذوب برف تازه، تشکیل یخ پوشه و ایجاد یخ شیشه است. برف در لایه های مرتفع هوا تشکیل می شود، از این رو ریزش آن بدون وایستگی به اقلیم خرد یا میکروکلیماست.

اگر در شرایط دمای قدری بالای صفر درجه، از یک زمین کوهستانی پوشیده از برف عبور شود، با نگاهی به دور دست مشخص می شود که مرز پایین ریزش برف منطبق گرمای زمین و غیره روی آن تأثیر گذارده، اختلافات زمین را بیوشاند، اثر تابش، باد، گرمای زمین و غیره روی آن تأثیر می گذارده، اختلافات میکروکلیمایی ظاهر می شود. هر چه ضخامت پوشش برف کمتر باشد، اختلافات میکروکلیمایی سریعتر آشکار می شود. از پایین مرز برف، ذوب آن آغاز می شود. در زمینهای که هدایت حرارتی خوبی دارد، مرز برف با توجه به گرمایی که از درون زمین دریافت می کند، به ارتفاعات بالاتری کشیده می شود. همچنین در دامنه هایی که گرمای حاصل از تابش از بالا به پوشش برف صادر می شود، مرز برف ارتفاع بالاتری را بخود اختصاص می دهد. بنابراین برف روی زمین هایی که از هدایت گرمایی خوبی برخوردار است، زودتر ناپدید می شود.

همچنین صحنه هایی جالبی از پدیده یخ پوش بوجود می آید که دلایل میکروکلیمایی خاص بر خوردار است. در حالی که ریزش برف همه جا را می پوشاند و با فرآیندهای ذوب، تفاوت های میکروکلیمایی را نشان می دهد، اما تشکیل یخ پوش به خصوصیات محل بستگی دارد. صبحها روی سطح الوارهای چوبی که بر خلاف زمین مجاور، هدایت حرارتی خوبی ندارد، یخ پوشهای سفید تشکیل می شود. در حالی که زمین اطراف آن برنگ تیره مشاهده می شود. همچنین در مجرای کانالی در پوشش کاملاً یک دست خیابان که از انتقال گرمای زیرین محروم است؛ دفعتاً یخ پوشهای سفید رؤیت می شود. معمولاً گودالهایی که با خاکهای دست ریز انباشته شده است طی شبهای سرد زمستان با ایجاد یخ پوش به رنگ سفید، خود را نشان می دهد؛ زیرا خاک سست داخل گودالها نسبت به زمینهای مجاور از قابلیت هدایت گرمایی کمتری برخوردار است.

تصویر ۱-۲ عکس هوایی را نشان می دهد که بوسیله نیروی هوایی سلطنتی لینکلن شایر انگلستان تهیه شده است. در این تصویر یخ پوشهایی مشاهده می شود که اسکلت دهکده قدیمی گینس تورپ را که قدمت آن به قرون وسطی می رسد نمایان کرده است. با ایجاد یخ پوش، دیواره های دهکده که از ۱۶۱۰ به بعد ناپدید شده، در اثر تغییر قابلیت هدایت گرمایی دوباره قابل رؤیت شده است. محققان تاریخ از اینگونه وقایع، خارج از اروپا نیز به کرات استفاده کرده اند.

اما حساستر از همه برای نوسان شرایط زمین پدیده یخ شیشه است. یخ شیشه از دو راه یا از طریق انجماد باران سرد روی سطح زمین بسیار سرد تشکیل می شود. هر کسی که در شرایط ایجاد یخ شیشه شدید با چشم باز به اطراف نظاره کند از تعجب، سؤال و کنجکاوی خلاص نمی شود؛ زیرا در هر خیابان و هر گوشه آن، روی هر سطح و سنگی، یخ شیشه به نحو ویژه ای تشکیل می شود. اثر خانه ها با تأسیسات گرمایی نمایان می شود. جداول حاشیه خیابانها دوباره خود را نشان می دهد و ناهمواری سطوح، ضخامت و نوع سنگفرشها، شیب زمین همه در ایجاد اشکال آن تأثیر می گذارد. در حقیقت این گونه پدیده ها کنجکاو بوده و به سؤالاتی که طبیعت در انظارش گذارده است پاسخ گوید.