

بررسی و تحلیل آلودگی شیمیایی PFAS در آب و خطرات و آسیب و تاثیرات آن بر محیط زیست و انسان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۸

کد مقاله: ۷۰۲۱۸

سهیل سلطانی نژاد^۱

چکیده

امروزه هزاران ماده شیمیایی مصنوعی طبقه بندی شده PFAS در محصولات مختلف روزمره همچون سورفکتانت های صنعتی، رزین ها، قالب ها و پلاستیک ها یافت می شوند. انتخاب سبک زندگی برای محدود کردن قرار گرفتن در معرض PFA باید به گونه ای باشد که با استفاده PFAS ها، نگرانی های زیست محیطی و بهداشتی کاهش یابد، و از طریق زنجیره های غذایی در سیستم های خشکی و آبی، و بسته بندی های مواد غذایی به بدن انسان راه نیابد. این مواد شیمیایی و مضر در همه جا وجود دارند، از مواد بهداشتی گرفته تا لباس های مختلف و محصولات نظیر روغن و ظروف الیافی و کاغذی. هیچ استانداردی برای PFAS در مواد غذایی وجود ندارد. ترکیبات PFAS با زنجیره کوتاه خطر کمتری نسبت به ترکیبات زنجیره بلند خود دارند که می توانند روزها یا حتی ماه ها قبل از دفع کامل در بدن بمانند. نتایج نشان داد نشان داده اند که سطوح بالای برخی از PFAS ها می تواند منجر به برخی از خطرات سلامتی شود. این ترکیبات با گذر زمان در بدن تجمع یافته و باعث ضعف سیستم ایمنی بدن می شود. مسلماً کاهش تولید مواد PFAS، کاهش آلودگی محیطی و مواد غذایی و نیز کاهش مصرف مواد غذایی آلوده به این ترکیبات را به دنبال خواهد داشت. از آنجایی که PFAS در طبیعت باقی می ماند و تجزیه نمی شود، آب های آشامیدنی می توانند توسط این مواد آلوده شوند.

واژگان کلیدی: ترکیبات PFAS، محیط زیست، آب های آشامیدنی، آلودگی شیمیایی

۱- دانشجوی دانشگاه علمی و کاربردی شرکت معادن زغال سنگ کرمان و کارشناس صنعتی ماشین سازی آلفا

ترکیبات PFAS متعلق به گروه وسیعی از مواد شیمیایی است که خواص و کاربردهای متفاوتی دارند. همه این مواد شیمیایی حاوی یک پیوند کربن-فلوئور هستند که به آن‌ها قابلیت پیوند شیمیایی قوی می‌دهد. این پیوند به این معنی است که آن‌ها می‌توانند در برابر فرآیندهای تخریب از سوی ما و قرار گرفتن در معرض محیط مقاومت کنند. دو شکل از PFAS که به خوبی مورد تحقیق قرار گرفته اند، اسید پرفلوروآکتانوئیک (PFOA) و سولفونات پرفلوروکتان (PFOS) هستند. PFOS و PFOA برای چندین دهه در تولید استفاده شده اند و در محیط‌زیست گسترده هستند. این ترکیبات دیگر ساخته نمی‌شوند و با PFAS جایگزین، مانند مواد شیمیایی GenX جایگزین شده اند. PFAS در بسیاری از صنایع مختلف، از جمله هوافضا، خودروسازی، ساخت و ساز، الکترونیک، معدن، نفت و گاز و تولید مواد غذایی استفاده می‌شود. نگرانی‌های مربوط به عدم تجزیه، تجمع در محیط و خطرات احتمالی برای سلامت انسان از PFAS باعث شده است تا تولید کنندگان مواد شیمیایی جایگزین را در نظر بگیرند. می‌توان PFAS را با استفاده از مواد با زنجیره طولانی تر فرموله کرد یا جایگزین کرد تا PFAS جایگزین ایجاد کرد که اثرات مشابه PFAS قدیمی را ندارد. مطالعات نشان داده اند که قرار گرفتن در معرض PFAS ناشی از استفاده از محصولات مصرفی بسیار کم است. محصولات مصرفی که ممکن است حاوی PFAS باشند عبارتند از، بسته بندی و ظروف غذا، جعبه پیتزا، بسته بندی شکلات و کیسه های پاپ کورن مایکروویو، پوشش‌های مقاوم در برابر لکه که روی فرش ها، اثاثیه یا لوازم داخلی و سایر پارچه های خانگی یافت می‌شوند، لباس مقاوم در برابر آب و آتش، محصولات پاک کننده، محصولات مراقبت شخصی، از جمله شامپو و نخ دندان، لوازم آرایشی مانند لاک ناخن و آرایش چشم، رنگ ها، روغن جلا و درزگیرها، قرار گرفتن در معرض محیط‌زیست می‌باشند. اغلب PFAS در سراسر محیط در فواصل طولانی از منابع اصلی خود حرکت می‌کنند. در نتیجه آب های زیرزمینی، سطحی و خاک را آلوده می‌کنند. محققان بر این باورند که اگر این روند ادامه یابد، تجمع طولانی مدت ممکن است برای منابع غذایی و آب آشامیدنی مضر باشد. فلذا چندین گروه زیست محیطی با محققان برای تعیین میزان آلودگی PFAS در جوامع مختلف متحد شده اند. به عنوان مثال، گروه کاری محیط‌زیست (EWG) و دانشگاه نورث ایسترن در بوستون تحقیق کرده و جزئیات آلودگی PFAS در منابع آب لوله کشی در ۲۷ ایالت و ده ها منبع صنعتی و نظامی را ارائه کرده اند. آن‌ها یک نقشه تعاملی با استفاده از داده های آب آشامیدنی فدرال ایجاد کرده اند. منبع مفیدی که قرار گرفتن در معرض PFAS را ترسیم می‌کند، آژانس ثبت مواد سمی و بیماری (ATSDR) است. نقشه ATSDR مخصوص تحقیقات PFAS است که در مناطق مجموعه ای در سراسر جوامع انجام شده است. برای مثال، ATSDR مطالعاتی را در منطقه جنوب ایالات متحد در مورد منابع آب عمومی و خصوصی انجام داده است که تخلیه کارخانه های مجاور ممکن است آن‌ها را آلوده کرده باشد. PFAS در برخی از این منابع آب شناسایی شد و دولت در حال انجام اقداماتی است. ATSDR در حال حاضر در حال ارزیابی است که آیا آب آشامیدنی در آن مناطق سالم است یا خیر. کارگرانی که در تولید مواد PFAS یا فرآوری PFAS فعالیت می‌کنند، بیشتر از جمعیت عمومی در معرض سطوح بالای PFAS قرار می‌گیرند. قرار گرفتن در معرض این مواد ناشی از استنشاق یا بلع این مواد شیمیایی یا قرار گرفتن آن‌ها بر روی پوست شما مضر است. مطالعات نشان داده اند که فقط مقادیر کمی از PFAS می‌تواند از طریق پوست به بدن نفوذ کند. حتی دوش گرفتن و حمام کردن یا شستن ظروف در آب حاوی PFAS باعث کاهش اثر نمی‌شود. نگرانی در مورد مواجهه نوزاد با PFAS از طریق شیر مادر وجود دارد. با این حال، تحقیقات کنونی نشان داده است که مزایای تغذیه با شیر مادر بر حداقل خطرات مواجهه نوزاد با PFAS در شیر مادر بیشتر است. مواد شیمیایی مضر به نام PFAS ممکن است منجر به از شیر گرفتن زودهنگام شود.

۲- مبانی نظری و مفاهیم تحقیق

امروزه مواد پروپلی فلوئوروآلکیل PFAS گروهی از مواد شیمیایی ساخته شده به دست بشر (زنوبیوتیک) هستند که شامل PFOA، GenX و PFOS است. شناخته شده ترین مواد شیمیایی این آلاینده ها، پرفلوروکتانوئیک اسید PFOA و پرفلوروکتان سولفونیکاسید PFOS می‌باشند. مواد شیمیایی PFAS در محصولات مختلف روزمره ای یافت می‌شود که زندگی ما را آسان تر می‌کند. آن‌ها را "مواد شیمیایی برای همیشه" می‌نامند زیرا به راحتی تجزیه نمی‌شوند. محصولات حاوی PFAS شامل جعبه پیتزا، بسته بندی مواد غذایی، تابه های نچسب، فرش ها و پارچه های مقاوم در برابر لکه، کیسه های ذرت بو داده در مایکروویو، محصولات مراقبت شخصی، لوازم آرایشی و غیره می‌شود. مواد شیمیایی PFAS همچنین می‌توانند به منبع آب راه پیدا کنند. آن‌ها حتی به دلیل استنشاق، بلعیده شدن و تماس با پوست در بدن انسان یافت می‌شوند. محققان بر این باور نیستند که قرار گرفتن در معرض روزانه آسیب شدید یا طولانی مدت ایجاد می‌کند. شما می‌توانید کارهایی برای محدود کردن قرار گرفتن در معرض PFAS خود انجام دهید، مانند نصب فیلترهای آب، محدود کردن قرار گرفتن در معرض بسته بندی رستوران، پخت و پز در خانه و مصرف نکردن ذرت بو داده مایکروویو. مواد شیمیایی PFAS در همه جا وجود دارد و تقریباً همه افراد در معرض

محصولات حاوی PFAS قرار گرفته اند. با این حال، بیشتر قرار گرفتن در معرض بسیار کم است و بعید است که منجر به اثرات نامطلوب سلامتی شود. اگر در مورد قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی PFAS نگران هستید، در نظر بگیرید که چگونه می توانید قرار گرفتن در معرض PFAS خود را محدود کنید. هرکسی که معتقد است مواجهه شغلی بالایی را تجربه کرده است، باید با پزشک خود تماس بگیرد تا در مورد خطر و غربالگری شرایط مرتبط صحبت کند.

۳- مقابله با قرار گرفتن در معرض PFAS

از آنجاییکه بسیاری از گروه های زیست محیطی در سراسر کشورها به طور مستمر به دنبال تلاش برای ابتکارات آب پاک و اقداماتی برای مقابله با قرار گرفتن در معرض PFAS هستند، توافق دولت ها در سال ۲۰۲۱ با اولویت طرح های آب و هوایی، از جمله خرید محصولاتی که حاوی PFAS نیستند توسط دولت فدرال، امضا شد. آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA) در سال ۲۰۲۰ یک برنامه اقدام برای رسیدگی به PFAS در آب آشامیدنی، شناسایی و پاکسازی منابع آشامیدنی PFAS و گسترش نظارت بر PFAS در تولید، ایجاد کرد. انواع جدیدی از PFAS نیز در حال توسعه هستند. بسیاری از اینها در محیط کمتر ماندگار خواهند بود. برای تعیین اینکه آیا این مواد شیمیایی جدید خطراتی برای سلامت انسان دارند یا خیر، تحقیقات بیشتری لازم است. برخی از انتخاب های سبک زندگی می تواند به شما کمک کند تا در معرض PFAS قرار بگیرید. به عنوان مثال، بر اساس یک مطالعه چشم انداز سلامت محیطی در سال ۲۰۱۹، افرادی که در خانه غذا درست می کنند، نسبت به افرادی که فست فود، غذای بیرون بر یا رستورانی می خورند، در معرض مواد شیمیایی PFAS کمتری قرار دارند. این مطالعه همچنین نشان داد که مصرف بالای PFAS بر افرادی که ذرت بو داده از کیسه های پاپ کورن مایکروویوی مصرف می کنند تأثیر می گذارد. راه های کاهش قرار گرفتن در معرض PFAS عبارتند از، آشپزی در خانه، بدین معنی که اگر در خانه غذا می خورید، کمتر در معرض بسته بندی های حاوی مواد شیمیایی PFAS قرار خواهید گرفت. قرار گرفتن در معرض بسته بندی مواد غذایی حاوی PFAS را به حداقل می رساند، می توانید با برداشتن بسته بندی مواد غذایی در اسرع وقت، قرار گرفتن در معرض PFAS را از بسته بندی مواد غذایی کاهش دهید. از نگهداری یا گرم کردن مجدد غذای رستوران در بسته بندی آن خودداری کنید. آب آشامیدنی خود را بررسی کنید، می توانید با شرکت آب محلی خود تماس بگیرید و ببینید آیا آن ها آب آشامیدنی را برای PFAS آزمایش می کنند یا خیر. اگر متوجه شدید که آب شما دارای سطوح بالایی از مواد شیمیایی PFAS است، یک سیستم فیلتر اسمز معکوس یا یک فیلتر کربن نصب کنید. تصور نکنید که آب بطری ایمن تر است، برخی از محصولات آب بطری شده می توانند حاوی سطوح بالقوه PFAS بالایی باشند، طبق یک مطالعه در سال ۲۰۲۱ این مطالعه مواد شیمیایی PFAS را در ۳۹ برند از بیش از ۱۰۰ برند آب بطری شده نشان داد. برخی از سطوح آنقدر بالا بود که کارشناسان کیفیت آب را نگران کرد. ظروف خود را بررسی کنید، بعید است که مواد شیمیایی PFAS در ظروف نجسب در طول استفاده منظم آزاد شوند. با این حال، اگر این ماهیتابه ها خراشیده شدند یا بیش از حد گرم شدند، نباید از آن ها استفاده کنید. همچنین بهتر است گزینه های دیگری مانند محصولات فولادی ضد زنگ و چدن را در نظر بگیرید.

۴- پیشینه ای از مطالعات گذشته

مطالعات بسیاری دیگر در سالهای اخیر در مورد اثرات PFAS بر سلامت انسان انجام شده است. به طور قابل توجهی، گزارشی که تمام مطالعات مربوط به وزن کم هنگام تولد را مرور می کند، نشان داد که PFOA باعث کاهش وزن هنگام تولد انسان می شود و جنین، نوزادان و کودکان خردسال را به خطر می اندازد، که آسیب پذیرترین جمعیت ما هستند. همچنین شواهدی از ارتباط PFAS به کلسترول بالا، واکنش ندادن به واکسن ها و کاهش باروری در خانم ها وجود دارد. اخیراً، یک مطالعه در مورد مردان جوان در معرض PFOA و "PFOS آلت تناسلی کوتاه تر، تعداد اسپرم کمتر، تحرک پایین اسپرم و کاهش" فاصله "anogenital صورت گرفته است، اقدامی که دانشمندان به عنوان نشانه ای از سلامت تولید مثلی می دانند. همچنین، بررسی تأثیرات روی حیوانات آزمایشگاهی تأثیرات بالقوه انسانی را نشان می دهد، مطالعات حیوانی آسیب کبدی، آسیب سیستم ایمنی بدن، نقص هنگام تولد، تأخیر در پیشرفت و مرگ نوزادان را نشان می دهد PFOA و PFOS باعث ایجاد تومور در جوندگان می شود. در یک مجله علمی که توسط موسسه کیفیت آب آشامیدنی نیوجرسی (DWQI) منتشر شده است، پیش بینی افزایش پنج تا هشت برابر خون را در هنگام مصرف آب حاوی ۷۰ قسمت در هر تریلیون PFOA (ppt) نشان می دهد. این مقدار قابل توجهی است زیرا غلظت خون بیش از حد افزایش می یابد و خطر ابتلا به بیماری را افزایش می دهد. این شواهد نشان می دهد که سطح مشاوره بهداشت فعلی (HAL) EPA از ۷۰ ppt از سلامت انسان ها محافظت نمی کند. شبکه Delaware Riverkeeper (DRN Network) از سال ۲۰۰۵ در مورد مشکلات ناشی از حضور ترکیبات پرفورین در محیط محلی مشغول به فعالیت بوده است، زمانی که کارمندان نمونه های آب شیر را در محله های نزدیک به تأسیسات Chambers DuPont در NJ, Deepwater، در

رودخانه دلاور (Delaware River) جمع آوری کردند. گمان می‌شد که ممکن است به دلیل گزارش‌های خبری در مورد درخواست رابرت بیلوت وکیل دادستان که در ویرجینیا غربی علیه DuPont به دلیل انتشار PFOA به محیط آنجا آورده شده است، مشکلی ایجاد کند. نمونه‌گیری‌ها حضور PFOA را در آب آشامیدنی مورد استفاده مردم جامعه نشان داد. در سال ۲۰۰۹، EPA با تعیین سطح مشورتی موقت سلامت فدرال برای قرار گرفتن در معرض آب آشامیدنی کوتاه مدت برای PFOA و PFOS شروع به اقدام کرد. آن‌ها همچنین یک برنامه مرحله‌ای و گزارش دهی را تنظیم کردند، که منجر به این شد که تولید کنندگان عمده تا سال ۲۰۱۵ تولید برخی از PFAS را متوقف کنند. در سال ۲۰۱۲، EPA شش PFAS را به لیست آلاینده‌هایی که باید در انتخاب سیستم‌های آب عمومی در سراسر کشور کنترل شوند اضافه کرد. این مکانیسم به این صورت است که بسیاری از دستگاه‌های تصفیه آب محلی و مردم حضور این ترکیبات سمی را در منابع آب خود کشف کردند. در سال ۲۰۱۶، EPA یک سطح مشورتی بهداشتی (HAL) را برای اندازه‌گیری PFOA و PFOS، به صورت جداگانه یا به صورت ترکیبی، ۷۰ ppt صادر کرد. این یک استاندارد اجباری نیست، اما توسط ارتش و بسیاری از دستگاه‌های تصفیه آب به عنوان یک استاندارد ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرد و باعث از بین رفتن یا تصفیه آب آشامیدنی می‌شود. مشکل این است که HAL از سلامت انسان محافظت نمی‌کند. در سال ۲۰۱۸، آژانس فدرال ثبت مواد سمی و بیماری‌های ثبت شده (ATSDR) گزارش گسترده‌ای را منتشر کرد که نشان می‌دهد سطوح حداقل خطر (MRLs) برای PFOA، PFOS، اسید سولفونیک پرفلوروهگزان (PFHxS)، و اسید پرفلورونونیک (PFNA) که می‌تواند به آن تبدیل شود غلظت آب آشامیدنی برای بزرگسالان و کودکان؛ سطح آن پایین‌تر از EPA's HAL است. هجده ایالت نسبت به PFAS، برای آب‌های زیرزمینی، آب آشامیدنی، میزان ترمیم و محدودیت‌های پساب اقداماتی انجام داده‌اند. ده ایالت مقرراتی را منتشر کرده‌اند، اما فقط یک کشور حداکثر میزان آلودگی (MCL) را برای یک ترکیب PFAS اتخاذ کرده است. در سال ۲۰۱۸، نیوجرسی برای PFNA، یکی از سمی‌ترین PFC ها، به عنوان مورد توصیه شده توسط DWQI، یک MCL ۰.۱۳ ppt را تصویب کرد، طبق آژانس DWQI، آژانس وظیفه انجام این کار را طبق قانون آب آشامیدنی سالم ACT دارد NJDEP. همچنین در نظر دارد MCL را برای PFOA ۱۴ ppt (و PFOS ۱۳ ppt) به کار بگیرد. در ماه می سال ۲۰۱۷، DRN دادخواستی را به هیئت مدیره کیفیت محیط زیست EQB PA، آژانس مسئول تنظیم استانداردهای آب آشامیدنی ایمن برای پنسیلوانیا ارائه داد، و از آن‌ها خواست که MCL را برای PFOA از ۱۴ ppt یا بیشتر از ۶ ppt تنظیم کنند. این سطوح پایین توسط گزارشات سمیت شناسی مستقل که توسط DRN پشتیبانی شده‌اند، پشتیبانی می‌شوند و در واقع با توجه به غلبه‌های تشخیص قابل اعتماد، غالباً به موارد غیراخلاقی نزدیک هستند. در رابطه با موارد شرایط یاد شده باید گفت نتیجتاً اینکه ترکیبات PFAS به طور طبیعی رخ نمی‌دهد، آن‌ها توسط آلاینده‌ها به آب آشامیدنی و محیط زیست ما معرفی شده‌اند و همچنان ادامه خواهند یافت مگر آنکه کسانی که آن‌ها را در آنجا قرار می‌دهند ملزم به تمیز کردن آن‌ها باشند. در این میان، بسیاری از افراد و خانواده‌های آن‌ها از اثرات درمانی که به PFAS مربوط می‌شود رنج می‌برند و هنوز آزمایش خون، مطالعات بهداشتی و نظارت پزشکی کمیاب است و به طور عادلانه اداره نمی‌شود. این امر به سادگی قابل قبول نیست وقتی کسانی که بحران ایجاد کرده‌اند با بودجه عظیم آن و برخی از ثروتمندترین شرکت‌های موجود مورد دفاع هستند. این آلاینده‌ها را باید با تنظیم اجباری از آب آشامیدنی پاک کرد و آلودگی‌ها را باید با هزینه مسئولان تمیز کرد تا اطمینان حاصل شود که آب و محیط زیست ما از این ترکیبات بسیار سمی در امان هستند، چون با بیماری انسان و اثرات منفی بر سلامتی ارتباط دارند. این بحران آب یک مشکل ملی است و راه حل فوری مورد نیاز این است که حق هر فرد را برای تمیز کردن آب سالم از طریق استانداردهای اجباری و بازگرداندن آلاینده‌ها بازگرداند.

۵- نتیجه‌گیری

مطابق مطالعاتی که PFAS را بررسی کرده‌اند نتایج نشان داده‌اند که سطوح بالای برخی از PFAS ها می‌تواند منجر به بسیاری از خطرات سلامتی شود. مواد شیمیایی و مضر PFAS در همه جا وجود دارند، از مواد بهداشتی گرفته تا لباس‌های مختلف و محصولات نظیر روغن و ظروف البافی و کاغذی. هیچ استانداردی برای PFAS در مواد غذایی وجود ندارد. ترکیبات PFAS با زنجیره کوتاه خطر کمتری نسبت به ترکیبات زنجیره بلند خود دارند که می‌توانند روزها یا حتی ماه‌ها قبل از دفع کامل در بدن بمانند. نتایج نشان داد نشان داده‌اند که سطوح بالای برخی از PFAS ها می‌تواند منجر به برخی از خطرات سلامتی شود. این ترکیبات با گذر زمان در بدن تجمع یافته و باعث ضعف سیستم ایمنی بدن می‌شود. مسلماً کاهش تولید مواد PFAS، کاهش آلودگی محیطی و مواد غذایی و نیز کاهش مصرف مواد غذایی آلوده به این ترکیبات را بدنبال خواهد داشت. از آنجایی که PFAS در طبیعت باقی می‌ماند و تجزیه نمی‌شود، آب‌های آشامیدنی می‌توانند توسط این مواد آلوده شوند. فلذا واحدهای تصفیه آب مصرفی می‌توانند به طور موثر ترکیبات PFAS را از منبع آشامیدنی خانگی، حذف کنند. دو نوع واحد فیلتراسیون مورد استفاده در خانه‌ها فیلتر کربن فعال دانه‌ای یا اسمز معکوس هستند. مواد شیمیایی (پلی‌تترافلوئورواتیلن)، پرفلوئورواکتیل تری اتوکسی

سیلان، پرفلورونونیل دی متیکون، پرفلورودکالین و پرفلوروهگزان در محصولات مراقبت شخصی و لوازم آرایشی استفاده می شوند، فلذا اگر می خواهید از PFAS در این محصولات اجتناب کنید، زمانی را به مطالعه برجسب مواد تشکیل دهنده آنها اختصاص دهید.

منابع

1. Berger, U., Hauka^s, M., 2021. Validation of a screening method based on liquid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry for analysis of perfluoroalkylated substances in biota. *Journal of Chromatography A* 1081, 210e217.
2. Berthiaume, J., Wallace, K.B., 2020. Perfluorooctanoate, perfluorooctanesulfonate, and N-ethyl perfluorooctanesulfonamido ethanol: peroxisome proliferation and mitochondrial biogenesis. *Toxicology Letters* 129, 23e32. Borga^o, K., Fisk, A.T.,
3. Hoekstra, P.F., Muir, D.C.G., 2020. Biological and chemical factors of importance in the bioaccumulation and trophic transfer of persistent organochlorine contaminants in Arctic marine food webs. *Environmental Toxicology and Chemistry* 23, 2367e2385. Borga^o,
4. K., Gabrielsen, G.W., Skaare, J.U., 2018. Biomagnification of organochlorines along a Barents Sea food chain. *Environmental Pollution* 113, 187e198.
5. Borga^o, K., Gabrielsen, G.W., Skaare, J.U., 2017. Differences in contamination load between pelagic and sympagic invertebrates in the Arctic marginal ice zone: influence of habitat, diet and geography. *Marine Ecology Progress Series* 235, 157e169.
6. Borga^o, K., Wolkers, H., Skaare, J.U., Hop, H., Muir, D.C.G., Gabrielsen, G.W., 2005. Bioaccumulation of PCBs in Arctic seabirds: influence of dietary exposure and congener biotransformation. *Environmental Pollution* 134, 397e409.
7. Bossi, R., Riget, F.F., Dietz, R., Sonne, C., Frauser, P., Dam, M., Vorkamp, K., 2005. Preliminary screening of perfluorooctane sulfonate and other fluorochemicals in fish, birds and marine mammals from Greenland and Faroe Islands. *Environmental Pollution* 136, 323e329.
8. Braune, B.M., Norstrom, R.J., 2015. Dynamics of organochlorine compounds in herring gulls: III. Tissue distribution and bioaccumulation in Lake Ontario gulls. *Environmental Toxicology and Chemistry* 8, 957e968.
9. Bustnes, J.O., Bakken, V., Skaare, J.U., Erikstad, K.E., 2014. Age and accumulation of persistent organochlorines: a study of Arctic-breeding glaucous gulls (*Larus hyperboreus*). *Environmental Toxicology and Chemistry* 22, 2173e2179.
10. Collander, R., 1951. The partitioning of organic compounds between higher alcohols and water. *Acta Chimica Scandinavica* 5, 774e780.
11. Drouillard, K.G., Norstrom, R.J., 2000. Dietary absorption efficiencies and toxicokinetics of polychlorinated biphenyls in ring doves following exposure to Aroclor (R) mixtures. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19, 2707e2714.
12. Erikstad, K.E., 1990. Winter diet of four seabird species in the Barents Sea after a crash in the capelin stock. *Polar Biology* 10, 619e627.
13. Faithfull, N.S., Weers, J.G., 1998. Perfluorocarbon compounds. *Vox Sanguinis* 74, 243e248.
14. Falk-Petersen, I.-B., Frivoll, V., Gulliksen, B., Haug, T., 1986. Occurrence and size/age relations of polar cod *Boreogadus saida* (Lepechin), in Spitsbergen coastal waters. *Sarsia* 71, 235e345.

