कैडमियम टैल्यूराइड (CdTe) प्रकाश–वोल्टीय प्रौद्योगिकी के वातावरणीय, स्वास्थ्य और सुरक्षा अध्ययन पर रिपोर्ट

द्वारा

प्रो. वीरेश दत्ता (मुख्य अन्वेषक)
प्रकाश–वोल्टीय प्रयोगशाला
ऊर्जा अध्ययन केन्द्र
भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान दिल्ली

प्रो. वम्सी कृष्णा (सह मुख्य अन्वेषक)
ऊर्जा अध्ययन केन्द्र
भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान दिल्ली

प्रो. टी.आर श्रीकृष्णन (सह मुख्य अन्वेषक)
अध्यक्ष
जैव रासायनिक इंजीनियरी विभाग
भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान दिल्ली

प्रो. उदय पी. सिंह (सह मुख्य अन्वेषक)
स्कूल ऑफ इलेक्ट्रानिक्स इंजीनियरिंग
के.आई.आई.टी. विश्वविद्यालय, पी.ए.टी.आई.ए.
भुवनेश्वर

जुलाई 2012

फर्स्ट् सोलर ने ''कैडमियम टैल्यूराइड (CdTe) प्रकाश–वोल्टीय प्रौद्योगिकी के वातावरणीय, स्वास्थ्य एवं सुरक्षा अध्ययन'' पर एक परियोजना प्रायोजित की है, जो भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान दिल्ली (भा.प्रौ.सं. दि.) में अभिनव परिवर्तन एवं प्रौद्योगिकी हस्तांतरण प्रतिष्ठान (FITT) के अन्तर्गत निष्पादित की जा रही है। भा.प्रौ.सं.दि. के संकाय सहयोगियों के अलावा हमारे साथ इस परियोजना में सह मुख्य अन्वेषक के रूप मे कलिंगा इन्स्टिट्यूट ऑफ इंडस्ट्रियल टेक्नालॉजी से प्रो. यू.पी. सिंह है। हमारे द्वारा हाथ में ली गई इस परियोजना में दो मुख्य प्रश्नों का विश्लेषण किया जाना है:

(i) क्या CdTe PV तंत्र सामान्य प्रचालन अवस्था में वातावरणीय, स्वास्थ्य अथवा संरक्षा जोखिम और उत्पाद के जीवन काल के अन्त तक (पुनर्चक्रण सहित) पूर्वाभाषी दुर्धटनाओं को निरूपित करते है?

(ii) अन्य ऊर्जा विकल्पों की तुलना में CdTe PV तंत्रों के बड़े पैमाने पर प्रस्तरण (deployment) के वातावरण, लोक स्वास्थ्य, जन संरक्षा पर समग्र जीवन प्रभाव क्या हैं?

इस परियोजना का मुख्य उद्देश्य कैडमियम टैल्यूराइड के निर्माण, प्रस्तरण में सम्मिलित पदार्थों और जीवन काल के अन्त की स्थिति पर उपलब्ध साहित्य का अध्ययन करना है। इसके पश्चात् भारत में वातावरण और स्वास्थ्य को प्रभावित करने वाले इन पदार्थों को समझकर कैडमियम के वर्तमान परिणामों और उद्योगों से निकलने वाली अन्य भारी धातुएँ, जो पानी अथवा आहार शृंखला में समाविष्ट हो जाती हैं, की तुलना कर प्रकाशित करना है। क्योंकि यह लोगों के लिए हानिकारक हो सकता है, और बड़ी स्वास्थ्य समस्याओं को उत्पन्न कर सकता है, अतः यह अध्ययन कैडमियम टैल्यूराइड प्रकाश–वोल्टीय के इस दिशा में जो प्रभाव हो सकते हैं उन पर प्रकाश डालना है।

यह रिपोर्ट वर्तमान परिदृश्य की हमारी समझ का सारांश प्रस्तुत करती है और यह मुख्यतः प्रतिवेदित साहित्य और फर्स्ट् सोलर द्वारा उपलब्ध रिपोर्टों पर आधारित है। अन्य प्रतिवेदित साहित्य को संकलित किया गया है और सम्पूर्ण विषय पर होलिस्टिक संदर्श स्थापित करने और इस परियोजना के अन्तर्गत फर्स्ट् सोलर द्वारा उठाए गए प्रश्नों के समाधान के लिए उपयोग में लाया गया है।

(वीरेश दत्ता) दिनांक 31 जुलाई, 2012

विषय सूची

कार्यपालक का सार

1. पृष्ठभूमि
   - 1.क संधारणीय प्रकाश-वोल्टीय पदार्थ
   - 1.ख तनु फिल्म सौर सेल
   - 1.ग कैडमियम टैल्यूराइड तनु फिल्म सौर सेल
   - 1.घ भारत में प्रकाश-वोल्टीय परिदृश्य
   - 1.ङ भारत में कैडमियम संबंधी मुद्दे
   - 1.च परियोजना के उद्देश्य
   - 1.छ मलेशिया दौरे की रिपोर्ट

2. परिणाम तथा विचार-विमर्श
   - 2.क कैडमियम टैल्यूराइड प्रकाश-वोल्टीय के वातावरणीय प्रभाव एवं लाभ
   - 2.ख पदार्थ पुनर्चक्रण : वातावरणीय एवं आर्थिक लाभ
   - 2.ग कैडमियम टैल्यूराइड प्रकाश-वोल्टीय माड्यूलों (प्रतिरूपकों) के पुनर्चक्रण के लिए फर्स्ट् सोलर के प्रयास
   - 2.घ फर्स्ट् सोलर रिपोर्ट एवं साहित्य

3. निष्कर्ष

4. आगे और अनुसन्धान

5. संदर्भ

चित्र एवं तालिकाएँ

चित्र

चित्र 1 : अन्य वैद्युत उत्पादन विकल्पों की तुलना में विद्युत एवं ईंधन खपत से प्रकाश- वोल्टीय तंत्रों के लिए जीवन-चक्र वायु मंडलीय कैडमियम उत्सर्जन।

चित्र 2 : ऐक्स-रे प्रतिदीप्ति माइक्रोप्रोव विश्लेषण - 1100^0 **C** पर ऊष्मित नमूने के मध्य से ऊर्ध्वाधर छेदिका, मध्य में कैडमियम गणनाएँ और छेदिका के पार्श्व।

चित्र 3 : **CdTe** माड्यॅल पुनर्चक्रण का प्रवाह चित्र।

तालिकाएँ

अध्याय 1 तालिका 1.1 – परिवेशी **PM10** और संबद्ध धातुओं **($\mu g\ m^{-3}$)** का मौसमी एवं आकाशीय **(**स्थानिक**)** वितरण। दिखाए गए परिणाम दो तरह की **ANOVA** जॉच **(**संबंधित महत्वपूर्ण स्तरों के साथ-साथ **F** मूल्यों**)** के हैं।

अध्याय 2 तालिका 2.1 – जी.एच.जी. उत्सर्जन और ई.पी.टी.।

अध्याय 2 तालिका 2.2 – वायुमंडलीय **Cd** उत्सर्जन ।

अध्याय 2 तालिका 2.3**(i)** – परम्परागत संयुक्त राज्य अमेरिका पावर उत्पादन की तुलना में सौर ऊर्जा के वन्य जीवन और प्राकृतिक आवास पर प्रभाव।

2.3**(ii)** – परम्परागत संयुक्त राज्य अमेरिका पावर उत्पादन की तुलना में सौर विद्युत से जलवायु परिवर्तन पर प्रभाव।

2.3**(iii)** –परम्परागत संयुक्त राज्य अमेरिका पावर उत्पादन की तुलना में भूमि उपयोग और भूजलवैज्ञानिक संसाधनों पर प्रभाव।

अध्याय 2 तालिका 2.4 – द्रव्यमान **(mass)** की मापित हानि।

अध्याय 2 तालिका 2.5 – 2025 और 2050 में **CdTe PV** के लिए **Cd** मॉग परिदृश्य।

अध्याय 2 तालिका 2.6 – 2025 और 2050 में **CdTe PV** के लिए **Cd** उत्सर्जन परिदृश्य।

कार्यपालक का सार

उद्देशिका

फर्स्ट् सोलर, जो कैडमियम टैल्यूराइड तनु फिल्म आधारित प्रकाश-वोल्टीय पैनलों का सबसे बड़ा विनिर्माता है, के अनुरोध पर भारत के सन्दर्भ में विशेष बल देते हुए CdTe PV पैनलों के उत्पादन, उपयोग, और अन्तिम निपटान के वातावरणीय, स्वास्थ्य और संरक्षा (EHS) के मूल्यांकन के लिए एक अध्ययन किया गया ।

कार्यप्रणाली

इस अध्ययन के लिए अपनाई गई कार्यप्रणाली ने निम्नलिखित स्रोतों से जानकारी जुटाई गई।

- CdTe PV माड्यूलों/पैनलों पर प्रकाशित साहित्य।
- फर्स्ट् सोलर द्वारा प्रदत्त CdTe PV पैनलों पर अप्रकाशित किन्तु लेखक द्वारा प्रमाणित साहित्य (रिपोर्टें)।
- 21 और 22 मई, 2012 को मलेशिया में स्थित फर्स्ट् सोलर की CdTe पैनल निर्माण और पुनर्चक्रण सुविधा में किए गए प्लान्ट दौरे के माध्यम से एकत्रित जानकारी।
- मलेशिया दौरे में विचार–विमर्श के दौरान फर्स्ट् सोलर कार्मिकों द्वारा प्रदत्त जानकारी से निकले निष्कर्ष।

टिप्पणी एवं निष्कर्ष

सम्पूर्ण विश्व में पावर की सतत् बढ़ती मॉग को पूरा करने के लिए सौर पावर का उपयोग, विशेषकर इसमें वायु, जल एवं मृदा प्रदूषण के न्यूनतम अथवा न होने के कारण, एक बहुत ही आकर्षक विकल्प है। इसके अलावा, प्रचालन के समय, यह ग्रीन हाउस गैस के उत्सर्जन और भूमंडलीय ऊष्मन परिदृश्य में योगदान नहीं करता है। यद्यपि इन हितलाभों को सभी स्वीकार करते हैं और समझते हैं तथापि सैद्धान्तिक रूप से जो संभव है, उसे बड़े

(वैश्विक) पैमाने पर प्रचालन तंत्र में अमल में लाने के लिए यथेष्ट विकासात्मक कार्य करने की आवश्यकता है।

CdTe प्रौ्द्योगिकी का, PV सोलर पावर पैनलों के बाजार में देर से पदार्पण हुआ। स्पष्ट रूप से यह मुख्यतः प्रयोगशाला निष्कर्षों को वाणिज्यिक रूप से सक्षम विकल्पों में परिणत करने की तकनीकी जानकारी के अभाव के कारण हुआ है। इन बाधाओं पर वर्तमान CdTe PV निर्माताओं, जैसे फर्स्ट् सोलर, ने पार पा ली है। सिलिकन आधारित अन्य विद्यमान प्रौद्योगिकी अब तक बाजार पर छाई रहीं। फर्स्ट् सोलर ने CdTe PV माड्यूलो, जिनमें ऊर्जा उत्पादन, जो सिलिकन माड़यूलों को प्रयोग कर प्राप्त की जाती थी, के तुलनीय और डिफ्यूज लाइट और उच्च ताप अवस्था में बेहतर निष्पादन के बड़े पैमाने पर उत्पादन के लिए प्रौद्योगिकी विकसित की है।

कच्चा माल

कैडमियम, एक भारी और अति विषालु धातु है, इसलिए, कैडमियम यौगिकों के किसी भी प्रयोग के वातावरण में संभव कैडमियम प्रचुरोद्भवन के खिलाफ और साथ ही साथ इसके उत्पादन, उपयोग और पी.वी. पैनलों के सुरक्षित निपटान में लगे कार्मिकों के कैडमियम यौगिकों के प्रभावन पर सावधानी से विचार करना होगा । हालांकि, CdTe, तात्विक Cd और अन्य Cd यौगिकों (उदाहरणार्थ $CdCl_2$) से सशक्त बन्धन के कारण भिन्न हैं जिससे अत्यधिक उच्च रासायनिक और तापीय स्थायित्व होता है [1-3] । CdTe जलीय विलेयता और जैव उपलब्धता गुणधर्म प्रदर्शित करते हैं जो कि $CdCl_2$ की 100% विलेयता और जैव उपलब्धता से लगभग दो परिमाण कोटि (orders of magnitude) कम है, इसका अर्थ यह है कि CdTe पानी और जैव तरल के सम्पर्क में आने से Cd (Cd^{2+})के प्रतिक्रियाशील आयनी रूप को सहज ही नहीं छोड़ते हैं। इन परिणामों पर आधारित CdTe की विषालुता और वातावरणीय गतिशीलता, Cd के अन्य रूपों की तुलना में आशा से काफी नीचे होगी। CdTe के तीव्र

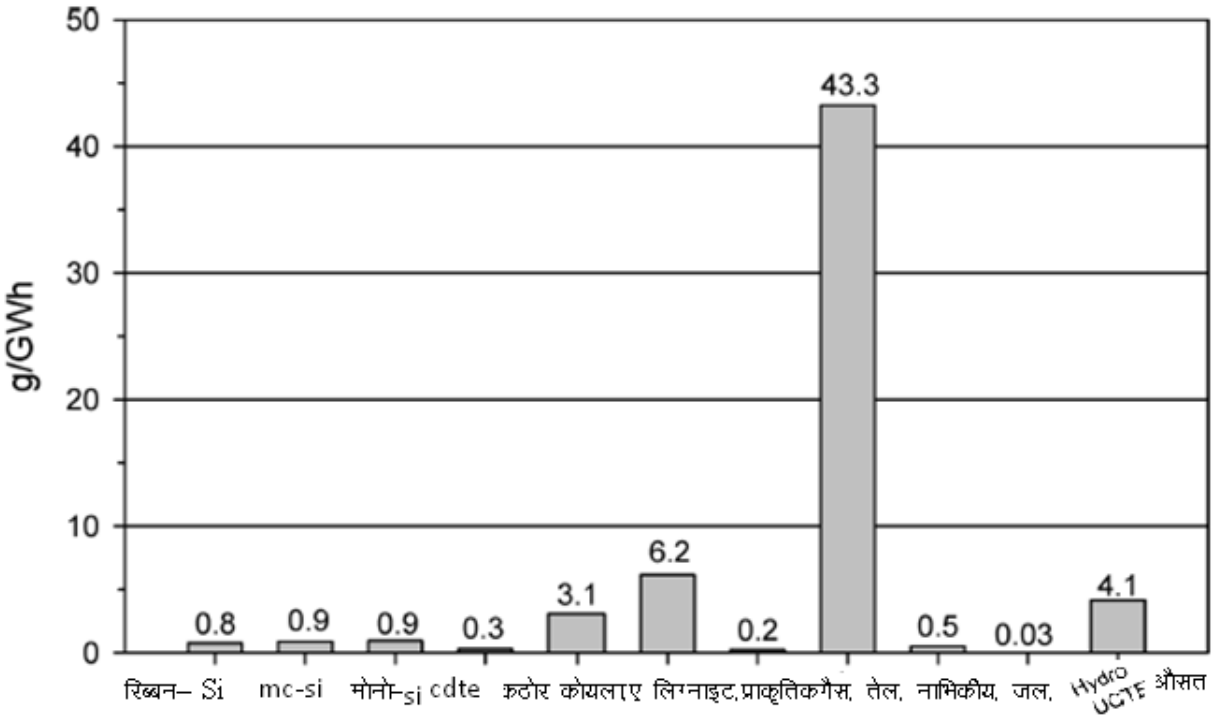
अन्तश्वसन और मुखवर्ती विषालुता Cd की तुलना में कई परिमाण कोटि कम है और नर और मादा चूहे के प्रजनन पर CdTe के अभिगेय (detectable) प्रभाव नहीं है [3]।

कैडमियम, जिंक (Zn) उत्पाद प्रक्रिया [4] का गौण उत्पाद है। जिंक (जस्ता) प्रगालक निरन्तर कैडमियम समाहित आपंक उत्पादित करते हैं और इन आपंकों से उपलब्ध कैडमियम की पुनः प्राप्ति (recovery) और निर्मलीकरण वर्तमान में कैडमियम की वैश्विक मॉग से अधिक है। इसलिए कैडमियम का उत्पादन अपने आप में चिन्ता का विषय नहीं हैं, जब तक कि कोई जिंक प्रगालकों को पूर्ण रूप से समाप्त करने के पक्ष में न हो। CdTe PV में Cd का प्रयोग प्राथमिक कैडमियम [31] के वैश्विक भाग का एक लघु भाग (~1%) निरूपित करता है [31]।

विनिर्माण

पी.वी. पैनल उत्पादन के दौरान हवा और पानी में कैडमियम के अल्प उत्सर्जन (विनियामक अनुमत्य सीमा के अन्तर्गत) होते हैं और वायु उत्सर्जन नियंत्रण और यथा स्थान पर अपशिष्ट जल उपचार के साथ नियंत्रित होते हैं। किन्तु यदि हम एक पी.वी. चैनल द्वारा सूर्य के प्रकाश से उत्पादित ऊर्जा पर विचार करें और जीवाश्मी ईंधन के जलने से उत्पादित ऊर्जा से तुलना करें तो हम पी.वी. माड्यूलों के समर्थन में दो महत्वपूर्ण तर्क पातें हैंः (i) PV पैनल जब प्रयोग में होते हैं, तो वे GHGs उत्सर्जित नहीं करते, जबकि जीवाश्मी ईंधन उत्सर्जन करते हैं, और (ii) कोयला और तेल, जो शक्ति उत्पादन के लिए आम तौर पर प्रयोग होने वाले जीवाश्मी ईंधन हैं, में भारी धातुएँ, जैसे कि कैडमियम (चित्र 1) समाहित होते हैं। दहन के दौरान, यह Cd हवा में उत्सर्जित होता है। इसके अतिरिक्त, कोयले के कारण भारी धातुएँ विभक्त होकर उड़ती राख में बदल जाती है और जब तक विवेकपूर्ण रूप से उड़न राख का अतिम निपटान नहीं किया जाता तब तक यह धातु कैडमियम प्रचुरोद्भवन का गंभीर खतरा प्रस्तुत करता रहेगा। संक्षेप में, ग्रीन हाउस गैसों (GHGs) के उत्सर्जन में ~ 89-98%

की कमी हुई है और जीवाश्मी ईंधन आधारित शक्ति स्रोतों [5] की तुलना में CdTe PV प्रौद्योगिकियों से वातावरण में अन्य भारी धातुओं जैसे कैडमियम के उत्सर्जन में कमी हुई है।



चित्र 1. अन्य विद्युत उत्पादन विकल्पों [5] की तुलना में वैद्युत एवं अन्य ईंधन खपत से पी.वी. तंत्रों के लिए जीवन चक्र वायु मंडलीय कैडमियम उत्सर्जन ।

फर्स्ट् सोलर विनिर्माण सुविधा में लागू सुरक्षा मानक, सामान्य औद्योगिक सुरक्षा जरूरतों के साथ–साथ विनिर्माण प्रचालकों में प्रयुक्त विषालु कैडमियम यौगिकों के संचालन संबंधी समस्याओं का मुकाबला करने के लिए प्रकाश–वोल्टीय उद्योग के सर्वश्रेष्ठ मानकों में से हैं। कार्मिकों को उनके वर्कस्टेशनों के लिए उपयुक्त निजी संरक्षी उपकरण (PPE) प्रदान किए जाते हैं और पूर्णतः अनुपालन के लिए PPE के प्रयोग का कड़ाई से अनुवीक्षण किया जाता है। जिन कार्मिकों में कैडमियम प्रभावन की अधिक संभावना होती है, उनके रक्त और मूत्र के नियमित आधार पर नमूने लिए जाते हैं और उन्हें कैडमियम की मात्रा के लिए विश्लेषित किया

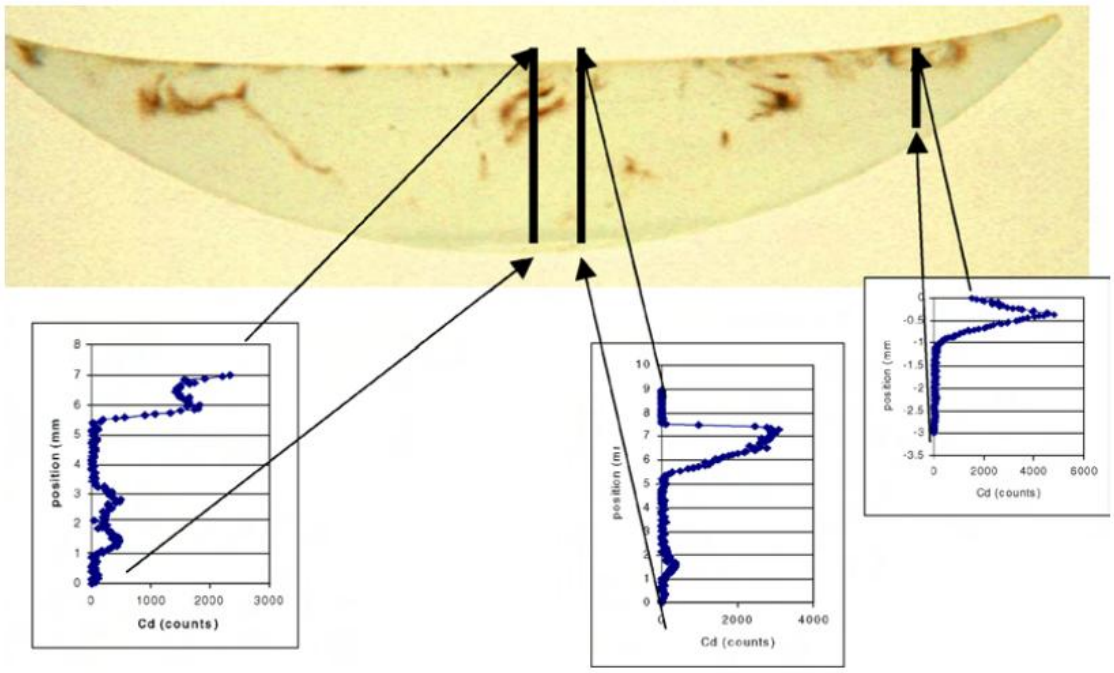
जाता है। लगभग 10 वर्ष का संकलित डाटा, जो उपलब्ध कराया गया था, के अनुसार सभी परीक्षण समूहों के रक्त एवं मूत्र के औसत में कार्यस्थल के कारण कैडमियम प्रभावन में कैडमियम स्तर की किसी बढ़ोत्तरी का साक्ष्य प्राप्त नहीं हुआ।

विशेष प्रक्रम उपकरण से उत्सर्जित कैडमियम यौगिकों को फैक्टरी की आन्तरिक वायु में प्रवेश करने से रोकने के लिए वायु फिल्टरों का एक व्यापक तंत्र स्थापित है। फैक्टरी में प्रवेश से पूर्व, कैडमियम संदूषित वायु को हेपा (HEPA) फिल्टरों के साथ फिट किए गए विशेष रूप से अभिकल्पित फिल्टर माड़यूलों से गुजरने दिया जाता है। इसके पश्चात् फिल्टर की गई वायु को फैक्टरी में पुनः फैलने दिया जाता है। फर्स्ट् सोलर विनिर्माण सुविधाओं से प्राप्त वायु के नमूने ऑकड़े पुष्टि करते हैं कि फैक्टरी की आन्तरिक वायु गुणवत्ता, पृष्ठभूमि (विशिष्ट इलाके की बाहरी वायु) वायु से बेहतर है जिससे वायु फिल्टरन तंत्र की प्रभाविता को बल मिलता है।

उत्पाद प्रयोग

पी.वी. पैनल के प्रयोक्ताओं के लिए यह प्रश्न अधिक प्रासंगिक होगा कि रोजमर्रा के प्रयोग के साथ–साथ गैर रोजमर्रा घटना जैसे कि आग लगने की दुर्घटना के दौरान क्या कैडमियम उत्सर्जित होगा? अधिकांश ऐसे सभी साहित्य इस दावे का समर्थन करते हैं कि इन पैनलों के रोजमर्रा के संस्थापनों अथवा प्रचालन चरण में कैडमियम उत्सर्जन की कोई चिंता नहीं हैं। अभी भी कुछ चिन्ता की जो बात हो सकती है वह है कि आग लगने की दुर्घटना के दौरान कैडमियम का क्या हश्र होगा ? CdTe, 1050^0C से अधिक तापमान में वाष्पित होता है। इस प्रकार के तापमान की संभावना आग लगने की बड़ी दुर्घटना के कारण संभव है। आग लगने की बड़ी दुघर्टना के परिणाम पर नजर डालने के लिए एक अति संकेन्द्रित और विशेष रूप से अभिकल्पित प्रयोग निश्चयात्मक रूप से सिद्ध करता है कि शीशे, जिनके बीच CdTe और CdS परतें जकड़ी हुई है, पहले वे पिघलेंगी और कैडमियम लवण से मिलकर एक संश्लिष्ट (complex) का निर्माण करेंगी जिससे कैडमियम को वाष्पित होने और वायु के

माध्यम से संवहनीय होने से रोका जा सके (चित्र 2) । यह अध्ययन यू.एस. की एक अति प्रतिष्ठित प्रयोगशाला में किया गया जो आग लगने [6] के कारण कैडमियम के प्रभावन के भय पर निश्चयात्मक रूप से विराम लगा देता है। फिर भी उत्कट स्थितियों के अन्तर्गत भी मॉड्यूल प्रदर्शित करता है कि यदि सभी कैडमियम यौगिकों की निर्मुक्ति भी करनी हो तो CdTe PV तंत्र [7] के निकटतम पड़ोस मे कैडमियम का सान्द्रण मानव स्वास्थ्य आवरणी स्तरों [7, 22, 30] से नीचे रहता है।



चित्र 2 : ऐक्स–रे प्रतिदीप्ति माइक्रोवेव विश्लेषण–1100^{0}C पर तप्त नमूने के मध्य से ऊर्ध्वाधर छेदिका, मध्य में कैडमियम गणना, और छेदिका के पार्श्व [6]

जीवन काल समाप्त पैनल

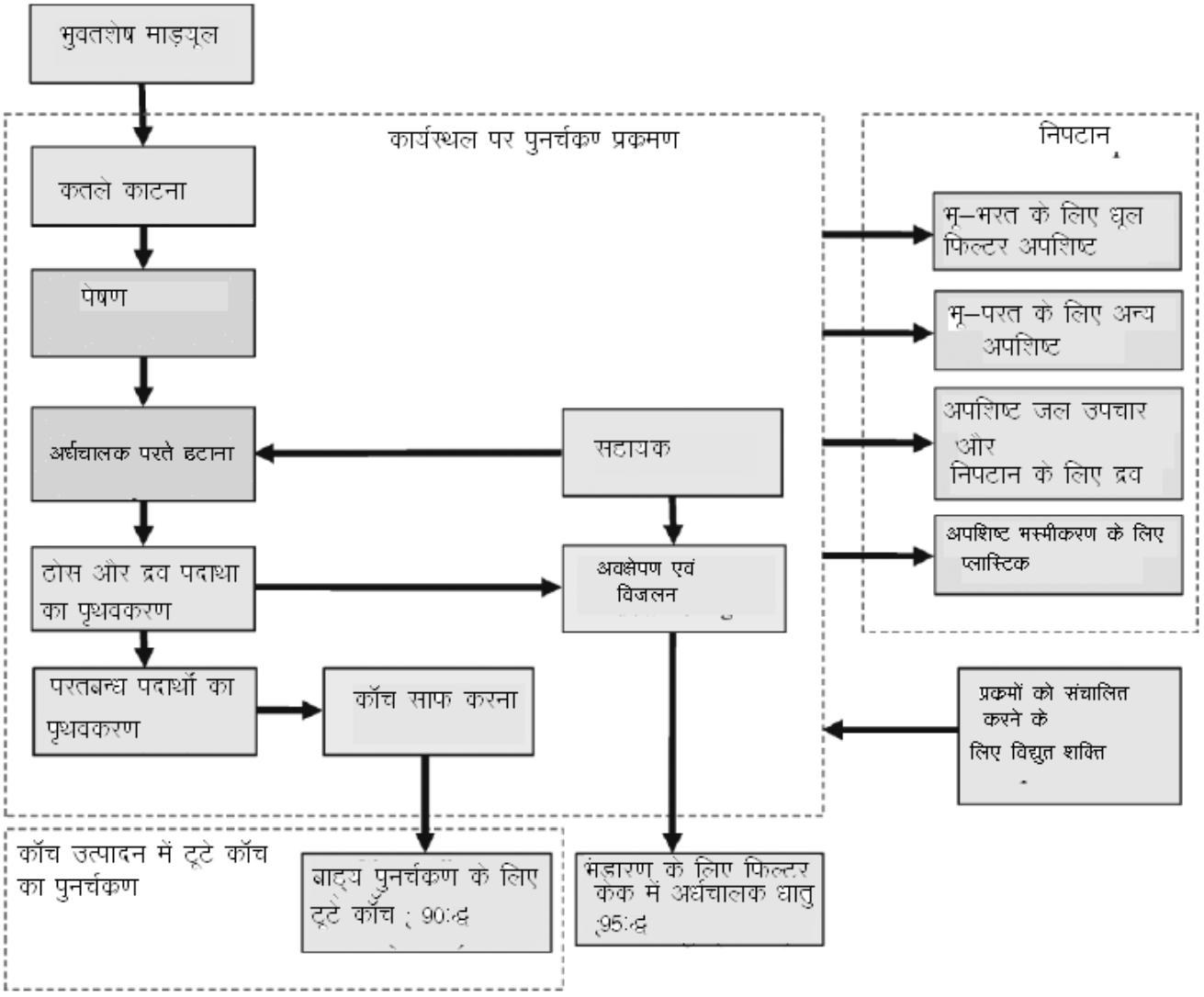
दूसरा प्रश्न जो किसी संभावित CdTe PV पैनल प्रयोक्ता के मन में उठता है यह कि कैडमियम टैल्यूराइड–संदूषित पैनलों का जब उत्पादक जीवन काल समाप्त हो जाता है, तब उनका क्या किया जाए ? फर्स्ट् सोलर किसी पैनल के लिए 25 वर्ष का जीवन काल प्रतिपादित करता है। एक बार यदि पैनल अपने उपयोगी जीवन के अन्त में पहुंच जाते है और उन्हें उनके व्यूह से हटा दिया जाता है, तब उनके उपयुक्त निपटान और पुनर्चक्रण की

आवश्यकता होती है। योरोप में, जीवन काल समाप्त माड्यूलों को EU वेस्ट फ्रेमवर्क डाइरेक्टिब्ज और दि EU वेस्ट कैटलॉग के अनुसार ''गैर खतरनाक अपशिष्ट'' में वर्गीकृत किया जाता है और ये गैर खतरनाक अपशिष्ट भू–भरतों (लैंडफिल) में निपटान के लिए उपयोगी होते हैं। भारत में खतरनाक अपशिष्ट संबंधी नियमों के अन्तर्गत जीवनकाल समाप्त माड्यूलों को उनमें कैडमियम यौगिक होने के बावजूद भी उन्हें गैर–खतरनाक अपशिष्ट के रूप में वर्गीकृत किया जाएगा। खतरनाक अपशिष्ट संबंधी नियमों के खतरनाक संगटकों (अर्थात् कैडमियम) के सान्द्रण का निर्धारण करने के लिए 'टॉक्सिसिटी, कैरिक्टिरिस्टिक लीचिंग प्रोसीजर'(TCLP) टेस्ट (ASTM वर्शन) का प्रयोग अंगीकृत किया है। जीवनकाल समाप्त CdTe मॉड्यूलों में कैडमियम यौगिकों का सान्द्रण चिन्ता की देहली से नीचे होता है। इसके अतिरिक्त, इंडियन लैंडफिल ऐक्ट के अनुसार लैंडफिल या तो जड़ (जैव निम्नीकरणीय नहीं) अथवा 'खतरनाक' (खतरनाक के रूप में वर्णित न्यूनतम किसी एक घटक के समाहित होने पर) हो सकते हैं। इसलिए यद्यपि CdTe PV पैनलों को गैर–खतरनाक अपशिष्ट के रूप में वर्गीकृत किया जाए और नगर अपशिष्ट भू–भरतों में निपटान किया जा सके इसके बावजूद भी इनका 'खतरनाक' भू–भरत में निपटान किया जाना आवश्यक है क्योंकि एक विशेष दृष्टिकोण हैं कि यह एक प्रकार का इलेक्ट्रानिक अपशिष्ट है। वर्तमान में भारत में अधिकांशतः सामाजिक–आर्थिक घटकों के कारण खतरनाक अपशिष्ट भू–भरतों को शुरू करना एवं चलाना अति कठिन कार्य है।

फर्स्ट् सोलर का वर्तमान में अपने उत्पाद के लिए सौर उद्योग का प्रथम पूर्व निधिबद्ध संग्रहण और पुनर्चक्रण कार्यक्रम है जिसे ट्रस्ट तंत्र द्वारा यह सुनिश्चित करते हुए संचालित किया जाता है कि प्रयोक्ता पर बिना अतिरिक्त लागत भार डाले जीवनकाल समाप्त पैनलों के संग्रहण और पुनर्चक्रण के लिए निधि उपलब्ध है। इसके अनुसार, जीवनकाल समाप्त पैनलों की संग्रहण और पुनर्चक्रण लागत, उत्पाद लागत में सम्मिलित होती है। क्योंकि संग्रहण और पुनर्चक्रण पूर्व निधिबद्ध है, अतः यह आशा की जाती है कि जो प्रयोक्ता इस कार्यक्रम को

अपना रहे हैं उनके लिए यह एक प्रोत्साहन के रूप में लाभदायी होगा। संग्रहण और पुनर्चक्रण निधियॉ तृतीय पक्ष के ट्रस्टी द्वारा संचालित की जाती हैं ताकि भविष्य में यदि फर्स्ट् सोलर बन्द भी हो जाता है, तब भी संग्रहण और पुनर्चक्रण के लिए निधियॉ उपलब्ध रहेंगी।

पुनर्चक्रण प्रकम में, जीवन काल समाप्त (या टूटे, प्रयोग करने के लिए अनुपयुक्त) पैनल जो पुनर्चक्रण के लिए पहले से निर्दिष्ट होते हैं, को रौंद (crushed) दिया जाता है और CdTe धातुओं को प्रबल आक्सीकारकों की उपस्थिति में प्रबल अम्ल से निष्कर्षित किया जाता है। तब निष्कर्षित CdTe धातुओं को अवक्षेपित किया जाता है और CdTe युक्त अवक्षेप को धातु की पुनःप्राप्ति (recovery) के लिए भेजा जाता है (चित्र 3)। सम्पूर्ण प्रक्रिया में प्रयुक्त जल को पहले कार्बनिक पदार्थों को निकालने के लिए और उसके बाद ऊर्णन अवसादन द्वारा उपचारित किया जाता है। स्थूल अपशिष्ट जल स्वच्छक जो नीचे प्रवाहित होते हैं, को फिल्टर प्रेसों (दाब निस्यंदकों) द्वारा फिल्टर किया जाता है और अपशिष्ट फिल्टर केक जिसमें कैडमियम के बहुत निम्न सान्द्रण समाहित होते हैं, का खतरनाक अपशिष्ट भू भरतों में निपटान किया जाता है। सम्पूर्ण पुनर्चक्रण प्रक्रिया पर किया गया EIA अध्ययन प्रतिवेदित करता है कि यह प्रक्रिया स्वीकार करने योग्य है [8]।



चित्र 3. CdTe माड्यूल पुनर्चक्रण का प्रवाह चार्ट [8]

सारांश

(i) क्या CdTe PV तंत्र सामान्य प्रचालन अवस्था में वातावरणीय, स्वास्थ्य अथवा संरक्षा जोखिम और उत्पाद के जीवन काल के अन्त तक (पुनर्चक्रण सहित) पूर्वाभाषी दुर्धटनाओं को निरूपित करते है?

संक्षेप में, कैडमियम और अन्य भारी धातुएं भारत में एक महत्वपूर्ण मुद्दा है और यहॉ अनेक ऐसे स्रोत विद्यमान हैं जो इन प्रदूषकों की जल, मृदा और वायु में उपस्थिति में योगदान करते हैं। इसलिए यह टिप्पणी करना महत्वपूर्ण होगा कि CdTe PV माड़यूलों के उत्पादन में जो ध्यान दिया गया है और क्षेत्र में तैनात मॉड़यूलों से कैडमियम की कम या न के बराबर निर्मुक्ति की संभाव्यता जिससे वर्तमान कैडमियम (अथवा अन्य भारी धातुओं) के प्रदूषण स्तर में कुछ बढ़ोतरी, चिन्ता करने का अल्प कारण हो सकता है। मॉड्यूल पुनर्चक्रण CdTe PV प्रौद्योगिकी की दीर्घकालिक और सामान्य रूप से प्रकाश–वोल्टीय प्रौद्योगिकी की संधारणीयता में सुधार करती है।

(ii) अन्य ऊर्जा विकल्पों की तुलना में CdTe PV तंत्रों के बड़े पैमाने पर प्रस्तरण (deployment) से वातावरण, लोक स्वास्थ्य, जन संरक्षा पर समग्र जीवन प्रभाव क्या हैं?

CdTe PV में PV प्रौद्योगिकियों [19] और PV त़ंत्रों में से सबसे छोटा कार्बन फूट प्रिन्ट और तीव्रतम ऊर्जा पे बैक अवधि है, विशेषकर CdTe को प्रयोग करने वालों में भूमंडलीय ऊष्मन को कम करने की महत्वपूर्ण शक्ति है। कोयले को प्रयोग करने वाली वर्तमान पावर उत्पादन प्रौद्योगिकियों से अनियंत्रित रूप मे CdTe मॉड्यूलों से, यहॉ तक कि असाधारण परिस्थितियों (उदाहरणार्थ आग लगने पर भी) में प्रत्याशित उत्सर्जन की तुलना में अत्यधिक मात्रा में पर्यावरण में कैडमियम का उत्सर्जन होता है [4]। यहां तक कि Si सौर सेल पर आधारित प्रबल प्रकाश–वोल्टीय प्रौद्योगिकियों में इन युक्तियों के लिए सम्मिलित (embodied) ऊर्जा अधिक होने के कारण अधिक मात्रा में जीवन चक्र कैडमियम उत्सर्जन होता है [5] ।

जीवन चक्र विश्लेषण यह सुझाव देता हे कि CdTe PV क्षेत्र में अधिक विकास में समग्र वैश्विक कैडमियम संबंधी वातावरणीय प्रदूषण [31] को बढ़ाने की बजाय वास्तविक रूप से घटाने की क्षमता है।

1. प्रस्तावना

1.क संधारणीय प्रकाश–वोल्टीय पदार्थ

21वीं सदी में सतत् विकास को बनाए रखने के लिए समाज बड़ी चुनौतियों का सामना कर रहा है। प्रकाश–वोल्टीय संस्थापन ईंधन मुक्त महत्वपूर्ण पावर स्रोतों के रूप में प्रच्छन्न रूप से संधारणीय हो सकते हैं, यदि हम सस्ते और दक्ष सोलर सेल विकसित कर सकें। सौर सेल प्रौद्योगिकियों की एक विस्तृत शृंखला सक्रिय अनुसन्धान और माड्यूल विकास के विभिन्न चरणों में है। बीते दिनों में उत्पादों में प्रयोग के लिए पदार्थों का चयन परम्परागत रूप से पूर्णतः लागत और निष्पादन अभिलक्षणों पर होता था, अब समय के साथ संधारणीता एक महत्पूर्ण घटक भी बन गया है। मानव स्वास्थ्य और पारिस्थितिकीय प्रभावों की अनदेखी से उत्पाद विकास और विनिर्माण की प्राथमिक अवस्था में पदार्थों के चयन के स्तर पर उनके मूल्यांकन की आवश्यकता है। पदार्थ उपयोग के वातावरणीय एवं मानव स्वास्थ्य प्रभाव भावी पीढ़ियों के लिए इस ग्रह को प्रतिपालित करने की समाज की योग्यता को क्षतिग्रस्त कर सकती है।

प्रकाश–वोल्टीय प्रौद्योगिकी की संधारणीय गतिविधि को मापने के लिए हमें लागत पहलुओं के साथ–साथ वातावरणीय, स्वास्थ्य और सुरक्षा प्रभावों एवं लाभों तथा संसाधन उपलब्धता और अन्य परम्परागत ऊर्जा उत्पादन प्रौद्योगिकियों की तुलना पर भी ध्यान देने की आवश्यकता है। वर्तमान में PV उद्योग मुख्यतः प्रथम पीढ़ी के सौर सेल के रूप में सिलिकन (Si) क्रिस्टलीय और बहु–क्रिस्टलीय Si वेफर पर आधारित है जिसकी किंचित अधिक लागत हैं किन्तु दक्षता के सन्दर्भ में बहुत अच्छा निष्पादन होता है, किन्तु सिलिकन प्रौद्योगिकियॉ प्रबल ग्रीनहाउस गैसों, जैसे NF_3 अथवा SF_6 को प्रयोग में ला सकती है और ऊर्जा गहन पॉलि–सिलिकन उत्पादन की जरूरत होती हैं। तनु फिल्म प्रकाश–वोल्टीय प्रौद्योगिकियों ने ग्रिड समानता (कुछ देशों ने वास्तव में प्राप्त कर ली है) प्राप्त करने के लिए आवश्यक लागत लक्ष्य पूरा कर शक्ति उत्पादन के टेरावाट को प्राप्त करने के लिए द्वार खोल दिए हैं।

तनु फिल्म प्रौद्योगिकियों को निम्न लागत और कम ऊर्जा प्रयोग के साथ साधारण उत्पादन का मुख्य घटक है कि लागत को ग्रिड समानता पर पहुंचने की जरूरत हैं, जिसमें सेल, मॉड्यूल और तंत्र की शेष राशि सम्मिलित है। विश्व की अनेक कंपनिया निम्न लागत, अधिक उत्पादन, बृहत् क्षेत्र तनु फिॅल्म और स्थूल युक्ति प्रक्रमों के उद्देश्य से अनेक विनिर्माण तरीके विकसित कर रही हैं। लागत के अतिरिक्त, PV प्रौद्योगिकी को वातावरणीय प्रभावों पर भी दिलचस्पी लेनी चाहिए जिन्हें परम्परागत पावर उत्पादन प्रौद्योगिकियों की तुलना में कम और पुनर्नव्य ऊर्जा विकल्पों के तुलनीय होना चाहिए।

इसलिए प्रतिष्ठित और विकासशील PV प्रौद्योगिकियों के विनिर्माता, प्रौद्योगिकी में सम्मिलित पदार्थों और ऊर्जा के सन्दर्भ में संधारणीयता पर ध्यानपूर्वक विचार कर रहे है। नई युक्ति के वास्तुकार PV के TW उत्पादन स्तर पर पहुंचने की संभाव्यता पर विचार कर रहे हैं जो कच्चे माल की कमी को और बढ़ा सकती हैं, क्योंकि इनमें से कुछ की प्रथम क्षेत्र में आपूर्ति कम है। इसने और जीवन चक्र पर्यावरणीय प्रभावों को कम करने के लक्ष्य ने प्रयुक्त अथवा गैर निष्पादनकारी माड्यूलों के लिए पदार्थ पुनर्चक्रण के माध्यम से विभिन्न प्रकाश–वोल्टीय प्रौद्योगिकियों के लिए पदार्थ के उद्गम से उपयोगी जीवन के अन्त तक और पुनःउद्गम तक (cradle to cradle) के लिए प्रौद्योगिकी विकास को बढ़ावा दिया है ताकि अपेक्षित पदार्थों का पुनर्निर्माण किया जा सके। इससे भावी अपशिष्ट ढेरों के प्रबन्धन में सहायता करते हुए प्रयुक्त मॉड़यूलों को भू–भरतों में जमा करने की समस्या का भी समाधान हो जाता है। CdTe PV के जीवनकाल समाप्ति पर प्रबन्धन को अनुच्छेद 2.ख और 2.ग में नीचे विवेचित किया गया है।

1.ख तनु फिल्म सौर सेल

प्रो. चोपड़ा, और अन्य सहयोगियों की समीक्षा रिपोर्ट ‘‘थिन फिल्म सोलर सेल्स (TFSC): ऐन ओवरव्यू’’ [9] में यह स्पष्ट किया गया है कि ‘‘किसी के अनुमान के अनुसार कौन से सेल, और कौन सी प्रौद्योगिकियॉ वाणिज्यिक रूप से अन्ततः सफल होती रहेंगी, किन्तु यह अवश्य निर्माण योग्यता की सरलता और प्रति विश्वसनीय वाट की लागत द्वारा निर्धारित किया जाएगा। सस्ते और सन्तुलित दक्षता वाले TFSC को धूप के अन्तर्गत उचित वाणिज्यिक स्थान मिलने की आशा है।’’

यह टिप्पणी लगभग 8 वर्ष पूर्व, इन वस्तुओं के अस्तित्व में आने से पहले के ज्ञान के आधार पर की गई थी। फर्स्ट् सोलर के Q1, 2012 की औसत माड्यूल दक्षता n~ 12.4% सहित <$1/$W_P$ की उत्पादन लागत पर विश्व में सबसे बड़े तनु फिल्म सौर सेल उत्पादक (GW उत्पादन पर आधारित) होने पर प्रकाश–वोल्टीय परिदृश्य बदल गया है। फर्स्ट् सोलर से अकाट्य निम्न विनिर्माण लागत के CdTe पैनल हाल ही में द्वितीय पीढ़ी के अब तक के सबसे सफलतम PV एप्रोचेज के रूप में उभरे हैं और वर्तमान में समग्र PV उत्पादन स्तर में द्वितीय स्थान पर है। फर्स्ट् सोलर, विश्व में लघु कार्बन फूट प्रिन्ट और तीव्रतम ऊर्जा पे बैक समय [19] का सबसे बड़ा तनुफिल्म माड्यूल विनिर्माता है। इस स्तर पर पहुंचने के लिए अन्य प्रौद्योगिकियॉ (CIGS और a-Si:H) भी अनुकूल हो रही हैं। बड़े पैमाने पर उत्पादन से वस्तुतः पदार्थ की कमी हो सकती है – पृथ्वी के प्रचुर पदार्थ प्रकाश–वोल्टीय पदार्थों की नवीनतम श्रेणी है जिस पर M ग्रीन [11] द्वारा उल्लेखित ‘‘PV पदार्थों के पिरामिड’’ की प्रवृत्ति को ध्यान में रखते हुए सक्रियता से अनुसन्धान किया जा रहा है। पूर्वानुमानित IEA तनु फिल्म PV बाजार की हिस्सेदारी को मध्य शताब्दी से, वर्तमान में पता लगे भविष्य के कच्चे माल की उपलब्धता (इंडियन और टैल्यूरियम) प्रौद्योगिकीय विकासों (दक्षता में बढ़ोतरी, अवशोषक की परत को कम करके और निक्षेपण प्रक्रम के दौरान पदार्थ के अधिक उपयोग सहित) से इसे आसान किया जाएगा [12]।

1.ग कैडमियम टैल्यूराइड तनु फिल्म सौर सेल

प्रौद्योगिकीय रूप से अत्यधिक सक्षम PV पदार्थों में से एक, CdS/CdTe सौर सेल ने यथेष्ट ध्यान आकर्षित किया है। CdTe में 1.45 eV का प्रत्यक्ष बैंड गैप और दृश्य क्षेत्र में $\alpha \sim 10^5/\text{cm}$ का उच्च अवशोषण गुणांक है। अवशोषित प्रकाश के 90% के अवशोषण के लिए लगभग 1 μm Cd Te तनु फिल्म पर्याप्त है। Cd और Te तत्वों में यौगिकों [1] की तुलना में सार्थक रूप से उच्च वाष्प दाब है। CdTe में प्रबल आयनता (72%) और Cd और Te के बीच रासायनिक आबन्ध ऊर्जा > 5eV [2] भी है। प्रबल आबन्धन से अति उच्च रासायनिक और वाष्पीय स्थिरता होती है जिससे निष्पादन के निम्नीकरण का खतरा कम होता है। CdTe सौर सेलों को पदार्थ की उपलब्धता (Te तुलनात्मक रूप से दुर्लभ तत्व है) और तत्वों की विषालुता के संबंध में कुछ चिन्ता का कारण माना गया हैं। इस समस्या का समाधान दूसरे दृष्टिकोण को बढ़ावा देने कि CdTe आधारित प्रकाश–वोल्टीय, Cd. जिनका पहले ही Zn, Cu आदि खनन से उपोत्पाद [4] के रूप मे उत्पादन किया जा रहा है, को पृथक करने के लिए कार्य कर सकता है और कंपनी द्वारा प्रयोक्ता को बिना अतिरिक्त लागत के पुनर्चक्रण के लिए उपलब्ध कराने से कुछ हद तक हो गया है (आगे का विचारः–विमर्श खंड 2 में देखें)।

1.घ भारत में प्रकाश–वोल्टीय परिदृश्य

भारत ने बिजली के साथ–साथ तापीय ऊर्जा के लिए और ताप और सौर प्रकाश–वोल्टीय प्रौद्योगिकियों को प्रयोग कर सारे देश में प्रचुर मात्रा में उपलब्ध सौर ऊर्जा दोहन द्वारा देश को सौरीय बनाने के महत्वकांक्षी कार्यक्रम में पदार्पण किया है। नई एवं पुनर्नव्य ऊर्जा मंत्रालय (संदर्भ www.mnre.gov.in) ने जवाहर लाल नेहरू राष्ट्रीय सौर ऊर्जा मिशन (JNNSM) प्रारम्भ किया है जिसका 2022 तक 22 GW सौर उत्पादन का लक्ष्य रखा गया है। यह स्पष्ट है कि विविध प्रकार के सौर सेलों का उपयोग करने वाली PV प्रौद्योगिकियों की इस मिशन में बड़ी भूमिका होगी। ग्रिड के पास और ग्रिड के दूर वाले दोनों प्रकार के तंत्रों को शहरी, ग्रामीण, दूर–दराज के क्षेत्रों में केन्द्रीकृत और वितरित ऊर्जा

उत्पादन विशेषताओं वाले तंत्र फैलाए जाएंगे। प्रतीकात्मक रूप से हर एक आशा करता है कि PV तंत्र किसी भी सौर सेल प्रौद्योगिकी का उपयोग करेंगे जो विभिन्न प्रकार के ac और dc लोड के प्रचालन के लिए देश में प्रचुर मात्रा में उपलब्ध सौर संसाधनों का दोहन कर विद्युत में परिवर्तित कर सकें। हालांकि प्रमुख भारतीय और अन्तरराष्ट्रीय निर्माता, वर्तमान में मुख्यतः क्रिस्टलीय Si प्रौद्योगिकी उपयोग कर रहे हैं, तनु फिल्म सौर सेल कंपनियां भी अपनी उपस्थिति महसूस करा रही हैं। तनु फिल्म प्रौद्योगिकी में विसरित प्रकाश के प्रयोग से प्रदत्त लाभ में बेहतर और कम तापीय गिरावट Si सौर सेल द्वारा प्राप्त विद्युत ऊर्जा की तुलना में अधिक सौर विद्युत ऊर्जा उत्पादन (kWhr में) दे सकती है। तनु फिल्म सौर सेल (TFSC) के संबंध में, यह तब भी घटित होता है जब माड्यूल की दक्षता लगभग 20% कम होती है। बड़े क्षेत्र की आवश्यकता का अर्थ कि सिस्टम की स्थापना में अधिक लागत होने से इसका नकारात्मक प्रभाव हो सकता है; यद्यपि फर्स्ट् सोलर ऊर्ध्वाधर रूप से समेकित है और उच्चतर दक्षता के माड्यूल तंत्रों के साथ प्रतियोगी रहने के लिए BOS लागत को नियंत्रित करता है। TFSCs को बढ़ावा देने के लिए आकर्षक कीमतें मददगार हो सकती हैं। जैसे कि अब तक Si कीमतें, विशेषकर चीनी निर्माताओं ने PV विद्युत कीमतों को काफी नीचे ला दिया है और कोई भी इस दशक में सभी PV प्रौद्योगिकियों की ग्रिड समानता के लिए कीमतें रखने का मिश्रित असर देख सकता है।

क्योंकि यह आशा की जाती है कि भारत में प्रयोक्ता, व्यक्ति विशेष से एक बड़े कारपोरेट अथवा सरकारी ऐजेन्सी की श्रेणी के हो सकते हैं, अतः विभिन्न प्रकार के माड्यूलों के संचालन में प्रयोक्ता समुदाय मॉड्यूल निष्पादन और जीवन काल (जो अन्ततः PV तंत्र के निष्पादन और जीवन काल को प्रभावित करता है) को प्रभावित कर सकता है। इसलिए, कोई भी अध्ययन, जिसमें CdTe जैसे पदार्थ सम्मिलित हों, में प्रयोक्ताओं की समझ से संबंधित मुद्दों और विभिन्न PV उद्योगों में लागू की जाने वाली विभिन्न प्रक्रियाओं में उनकी स्वीकृति को सम्मिलित किए जाने की आवश्यकता है। इसके एक उदाहरण का यह अर्थ यह हो सकता है कि छोटे आकार के प्रयोक्ता अपने आप माड्यूल को नष्ट कर सकते हैं और संभवतः

कंपनियों द्वारा प्रदत्त पुनर्चक्रण कार्यक्रम का लाभ उठाना पसंद नहीं करेंगे। इस स्थिति में पहले तो धातु का प्रभाव मृदा पर हो रहा है और उसके बाद संयंत्र के पानी पर, जो उन मामलों, जहॉ पर माड्यूलों के संचालन और उन्हें नष्ट करने के लिए अच्छी प्रक्रियाएँ अपनाई (माड्यूल निर्माता द्वारा यथा निर्धारित) जाती हैं, से भिन्न हो सकता है। क्योंकि फर्स्ट् सोलर का बृहत् स्तर (छोटे आकार के नहीं) के CdTe PV मॉड्यूल की ऑन ग्रिड (मुक्त क्षेत्र) स्थापनाओं में तैनाती पर फोकस है, अतः मॉड्यूल पुनर्चक्रण, प्रतिबद्धता, फर्स्ट् सोलर एवं इसके ग्राहकों के बीच प्रोटोकोल की संस्थापना और चालू करने का एक भाग हो सकता है।

1.ङ भारत में कैडमियम संबंधी मुद्दे

वतावरण में Cd की उपस्थिति एक देश से दूसरे देश में भिन्न–भिन्न हो सकती है। भारत में जलाशयों, खाद्य पदार्थों, पौधों और हवा में भारी धातुओं की उपस्थिति पर गंभीर चिंता है। विभिन्न औद्योगिक उत्पादों के कारण वातावरण में कैडमियम की उपस्थिति कैसे उभर रही है और देश में इसके प्रतिवेदित स्तर क्या हैं, को समझने के लिए निम्नलिखित विश्लेषण किया गया है। यह विश्लेषण, उस समय उपयोगी हो सकता है जब इन स्तरों की तुलना, CdTe PV तंत्र जिस मात्रा तक Cd की उपस्थिति को बढ़ा सकेंगे, से करनी हो। यद्यपि ढेर सारी भारी धातुओं का वातावरण में समावेष्टन, औद्योगिक अपशिष्टों के निपटान की खराब प्रक्रियाओं के कारण हो सकता है, संविचरन और तैनाती के सभी पहलुओं में PV उद्योग की पर्यावरण प्रदूषण के संबंध में चिन्ता सही प्रक्रियाओं की ओर इशारा कर सकती है जिन्हें देश में अपनाने की जरूरत है। भारतीय वातावरण में कैडमियम के स्रोतों का कुछ विवरण नीचे दिया गया हैः

भारत में कैडमियम को अन्य देशों की भॉति जिंक को गलाने और उसके परिष्करण से उपोत्पाद के रूप में प्राप्त किया जाता है। स्फैलेराइट, जो जिंक का मुख्य अयस्क है, में कैडमियम का सान्द्रण 0.03 से 9.0 wt% की रेंज में होता है। रामपुरा अगूचा, जो भारत के

राजस्थान राज्य के भीलवाड़ा जिले में हैं, में (विश्व में जिंक और लेड का सबसे बड़ा भंडार है), जिंक के सान्द्रण में कैडमियम 0.18%, जबकि लेड सान्द्रण में कैडमियम 150 ppm है। कैडमियम के कोई भी पृथक स्रोत नहीं हैं। भारत में कैडमियम की पुनःप्राप्ति की स्थापित क्षमता 913 टन थी जिसमें से हिन्दुस्तान जिंक लिमिटेड की हिस्सेदारी 833 टन की थी। बिनानी जिंक लिमिटेड की शेष 80 टन की क्षमता है।

भारत में कैडमियम की खपत पेन्ट, कॉच, और रासायनिक उद्योगों में है। अनेक ऐसी रिपोर्टें हैं जिनके अनुसार खाद्य पदार्थों और नियमित उपयोग की वस्तुओं में कैडमियम उपस्थित है।

(i) कोका–कोला अपशिष्ट में

केरल स्टेट पाल्यूशन कन्ट्रोल बोर्ड ने कोका–कोला प्लान्ट द्वारा उत्सर्जित अपशिष्ट पदार्थ का विश्लेषण किया और उसमें अनुमत्य स्तर की तुलना में कैडमियम अधिक उच्च सान्द्रण पर पाया गया। वास्तव में जलाशयों में Cd, Cr और Pb का सान्द्रण अनुमत्य सीमा से काफी ऊपर पाया गया।

(ii) सोने के आभूषणों में

सोने के आभूषणों के किनारों को जोड़ने में कैडमियम का प्रयोग किया जाता है किन्तु कैडमियम के कुप्रभावों के कारण इस प्रक्रिया पर सरकारी रूप से प्रतिबन्ध हैं ।

(iii) भारतीय खिलौनों में

रंगीन बिल्डिंग ब्लाकों में अथवा खिलौनों में लेड और कैडमियम हो सकता है जो बच्चों के लिए हानिकारण हो सकता है।

(iv) भोजन में

देश के विभिन्न भागों में खाद्य पदार्थों और पेयजल में बड़ी मात्रा में भारी धातुएँ (आर्सेनिक, मर्करी, निकल, लेड, कैडमियम अदि) जमा पायी जाती हैं जो शरीर के ऊतकों में जमा हो जाती हैं और इनके कारण विविध प्रकार की बीमारियां हो जाती हैं। प्रत्येक पत्तेदार सब्जियों में लेड, क्रोमियम, आर्सेनिक, मर्करी और निकल बड़ी मात्रा में होते हैं। हल्दी के नमूनों में आर्सेनिक, कैडमियम और लेड पाया गया। सब्जियों में भारी धातुओं के संचित होने के लिए गन्दे पानी (मलजल) और औद्योगिक बहिःस्राव का इस्तेमाल मुख्यतः उत्तरदयी हैं । अनउपचारित औद्योगिक अपशिष्ट पानी, कैडमियम और अन्य भारी धातुओं की उपस्थिति के कारण भौम जल के बड़े भाग को अपेय बना सकता है।

(v) नदी तल अवसाद पर कैडमियम का अधिशोषण

नदी तल में प्रायोगिक डाटा पर आधारित कैडमियम अधिशोषण का विस्तृत अध्ययन किया गया है [13]। घोल pH, अवसाद मात्रा, सम्पर्क समय और कण आकार जैसे प्रचालन चरों (operating variables) का पश्चिमी उत्तर प्रदेश की काली नदी के अत्यधिक प्रदूषित तल अवसादों पर कैडमियम आयन के अधिशोषण पर प्रभाव का अध्ययन किया गया है। अध्ययन ने अलवण (freshly) निक्षेपित अवसादों में कैडमियम आयन के अधिशोषण की संभाव्यता व्यक्त की है, जो नगर और औद्योगिकीय बहिःस्राव अथवा जैविक और रासायनिक अवकर्षण के कारण नदी तंत्र में पहुंच जाता है। अध्ययन बताता है कि यद्यपि कैडमियम आयन में चिकनी मिट्टी और अवसाद के गाद (silt) भाग के लिए अधिक सजातीयता है, तथापि अधिशोषण के लिए स्थूलतर भाग का समग्र अंशदान अलवण निक्षेपित अवसादों की तुलना में अधिक है।

देश के जल–जलीय तंत्र में भारी धातुओं का अन्तर्गमन समय के साथ–साथ बढ़ रहा है, क्योंकि वहिःस्रावों [14] के विसर्जन में घटिया प्रबन्धन सहित इन धातुओं से युक्त

औद्योगिक उपयोग आश्चर्यजनक रूप से बढ़ रहा है । जलीय तंत्र में विद्युत लेपन उद्योगों, रंजन उद्योगों, उर्वरकों आदि के अपशिष्ट जल के माध्यम से कैडमियम पाया गया। अपशिष्ट जल के विसर्जन (0.1mg/L) और पेयजल (0.05mg/L) हेतु कैडमियम की अनुमत्य सीमा के लिए निर्मित कठोर मानक प्रभावी नहीं रहे हैं। जलाशयों में भारी धातुओं की उपस्थिति के प्रभावों ने पड़ोसी क्षेत्रों के भौम जल को भी प्रभावित किया है। कयोंकि पेयजल जरूरतों के लिए जनसंख्या का बड़ा भाग भौमजल पर निर्भर रहता है, अतः ऐसे पानी के दैनिक उपयोग से स्वास्थ्य को गंभीर हानि हो सकती है।

बड़ी संख्या में औद्योगिक अनुप्रयोगों, जैसे बैटरियों, स्टेबलाइजरों के लेपन, पेन्ट, मिश्रधातुओं में प्रयुक्त कैडमियम अति निम्न सान्द्रण में भी विषैला होता है। संदूषित स्थलों से कैडमियम जैसी भारी धातुओं के निष्कर्षण के लिए एक आशाजनक पौधा है – ब्रैसिका जुनेसिया, जिसे आम तौर पर भारतीय मस्टर्ड (राई) के नाम से जाना जाता है। इसकी जड़ें जिंक, लेड, क्रोमियम, तांबा, सिलेनियम, और निकल को निकालने में भी मदद करती हैं। जौ (हार्डियम बलगेयर) और जई (आवीना सैटाइवा) कॉपर, कैडमियम और जिंक को अन्तर्ग्रहण करता है। झुरमुटदार चौलाई (एमारेन्थस स्पाइनोसस) और हैदराबाद की मसी नदी के गंदे पानी के आपंक में उगी ऐलिगेरटर घास (आल्टरनेन्थेरा फिलोक्सेराइड्स अर्ध जल–जलीय घास जिसे किसी अत्यधिक प्रदूषित नदी में देखा जा सकता है) ने प्रदर्शित किया है कि वे कैडमियम, जिंक और लौह को अपने पत्तों में संकेन्द्रित कर सकते हैं। इन्हें गंदे पानी के आपंक से संदूषित स्थलों [15] को वापस पुनः शुद्ध करने के लिए उपयोग किया जा सकता है।

जवाहर लाल नेहरू विश्वविद्यालय के शोधकर्ताओं ने तीन स्थानों पर वायु के नमूने के अनुवीक्षण द्वारा ‘‘एयनबोर्न इन्हेलेबल मेटल्स इन रेजिडेन्शिल एरियाज ऑफ दिल्ली, इंडिया : डिस्ट्रिव्यूशन सोर्स अपार्शनमेन्ट ऐन्ड हेल्थ रिस्क्स’’ नामक अध्ययन किया [16]। अध्ययन के लिए इन स्थानों का चयन उनकी कोयला दहन शक्ति संयंत्र और औद्योगिक क्षेत्रों की निकटता के कारण किया गया। यह नोट किया गया कि ‘‘वायु में प्राकृतिक रूप से उपस्थित धातुओं के बारे में हम कुछ खास नहीं कर सकते हैं किन्तु जिंक, निकल, क्रोमियम और

कैडमियम की उपस्थिति आदि जैसी धाातुएँ मानवोद्भवी कारणों के कारण अधिक मात्रा में हैं।" किसी प्रकाशित रिपोर्ट से ली गई तालिका, तीन स्थलों (जिन्हें RG-राजघाट; MV- मयूर विहार ; और MP-मीठापुर कहते हैं) के विभिन्न परिणाम प्रस्तुत करती हैं।

सबसे प्रचुर मात्रा में विद्यमान धातु, विभिन्न μgm^{-3} की श्रेणी के सान्द्रण में Fe और Zn थे जबकि Cd विभिन्न ngm^{-3} की श्रेणी के सान्द्रण में न्यूनतम प्रचुरता में था। दिल्ली के आवासीय क्षेत्रों में अन्तःश्वसनीय धातुओं का सान्द्रण यद्यपि कुछ मामलों में अन्य भारतीय और एशियन शहरों के तुलनीय था – किन्तु यह प्रायः परिणाम क्रम (order of magnitude) से अधिक रहता है जो कि उनके योरोपीय अथवा यू.एस. प्रतिपक्षों से अधिक होता है। समग्र रूप से, यह अवलोकित किया गया कि PM10 और अनेक धातुओं का सान्द्रण और दिल्ली के चुने हुए आवासीय क्षेत्रों में शहरी पृष्ठभूमि वाले क्षेत्रों की तुलना में स्पष्ट रूप अधिक था। Cd, Ni और Pb का सान्द्रण राजघाट (RG) की तुलना में मीठापुर (MP) में सार्थक रूप से अधिक ($p<0.05$) था। कोयल दहन वाले बड़े विद्युत संयंत्रों और औद्योगिक क्षेत्रों की निकटता मीठापुर में अच्च धातु सान्द्रता का कारण हो सकता हैं।

तालिका 1 : परिवेशी PM10 और संबद्ध धातुओं ;(µgm-3) का मौसमी एवं स्थानिक वितरण।
प्रदर्शित परिणाम दो दिवसीय ANOVA परीक्षण :सदश सार्थक स्तरों सहित F मान

	RG			MV			MP			RG (N = 43)	MV (N = 44)	MP (N = 44)	*F*–values two–way ANOVA		
Species	W	S	M	W	S	M	W	S	M	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Season	Site	Season*Site
PM_{10}	165.1	205.8	133.8	184.7	210.3	122	194.9	215.9	164.2	166.5 ± 54.7	175.5 ± 67.6	192.3 ± 63.4	17.2^{c}	2.2^{NS}	0.6^{NS}
Fe	7	12.1	5.5	9	12.4	6.7	10.5	13	10	8 ± 3.7	9.6 ± 4.4	11.2 ± 4.3	23.2^{c}	7.7^{b}	1.2^{NS}
Mn	0.34	0.37	0.26	0.27	0.37	0.21	0.22	0.32	0.2	0.32 ± 0.1	0.29 ± 0.1	0.25 ± 0.1	14.2^{c}	4.5^{a}	0.7^{NS}
Cd	0.014	0.005	0.005	0.022	0.014	0.011	0.028	0.018	0.011	0.008 ± 0.006	0.016 ± 0.01	0.019 ± 0.015	19.2^{c}	16.1^{c}	0.7^{NS}
Cu	0.28	0.16	0.08	0.25	0.34	0.22	0.26	0.21	0.16	0.18 ± 0.1	0.27 ± 0.1	0.21 ± 0.1	12.3^{c}	8.6^{c}	4.5^{b}
Ni	0.44	0.32	0.15	0.39	0.3	0.13	0.46	0.39	0.25	0.3 ± 0.2	0.28 ± 0.2	0.37 ± 0.2	49^{c}	7^{c}	0.5^{NS}
Pb	0.41	0.24	0.14	0.47	0.49	0.25	0.51	0.54	0.33	0.27 ± 0.2	0.41 ± 0.2	0.46 ± 0.3	17.8^{c}	13.3^{c}	1.5^{NS}
Zn	4.4	4.4	5.3	5.3	4.7	2.7	5.7	4	2.6	4.7 ± 1.7	4.3 ± 1.5	4.1 ± 2.1	11.7^{c}	1.8^{NS}	8^{c}
Cr	0.17	0.17	0.07	0.32	0.17	0.09	0.32	0.27	0.09	0.13 ± 0.07	0.2 ± 0.12	0.23 ± 0.18	36.3^{c}	8.7^{c}	3.2^{b}

W, Sऔर M क्रमशः शीत ऋतु (नवम्बर–फरवरी), ग्रीष्मऋतु (मार्च–जून), वर्षाऋतु (जुलाई–अक्टूबर) को सूचित करते हैं। Mean (माध्य) ± SD, वार्षिक मध्य मानों ±, साइटों पर एक मानक विचलन से संबधित है, N- किसी विशेष साइट से संग्रहित नमूनों की संख्या को निर्दिष्ट करता है; सार्थकता का स्तर : ^{ns}सार्थक नहीं, $^{a}p<0.05$, $^{b}p<0.01$, ^{c} $p<0.001$ है।

धातुओं के समृद्धि गुणांक (EFS) इस प्रकार परिकलित किए गए :

$EF = (X_{aerosol}/Ref_{aerosol})/(X_{ucc}/Ref_{ucc})$, इसमें X तत्व है जो एरोसॉल और उपरि महाद्वीपीय पर्पटी (UCC) दोनों के अन्तर्गत विचारार्थ है और Ref एक सन्दर्भ तत्व है जो कि प्रतीकात्मक रूप से भूपर्पटी जैसे कि Al, Fe, Li, Ti आदि हैं। तृतीय समूह जिसे Zn (244.9 ± 155- 418.3 ± 243 और Cd (386.1 ± 409.8 – 595.3 ± 397.5) द्वारा निरूपित किया गया है, में अत्यधिक उच्च EF मान (100 – 1,000 के बीच थे) और ऐरोसॉल में असामान्य रूप से अत्यधिक। यानीय टायर उपयोग, बैटरी विनिर्माण, रंजक, धातु प्लेटन और प्रगलन उद्योग, इन धातुओं के महत्वपूर्ण स्रोत हैं। Cd, Ni, Zn और Cr जैसी धातुओं में और दूसरी ओर शीत ऋतु में (बहु तुलना, $p<0.05$) महत्वपूर्ण रूप से अधिक सान्द्रण था और ऋणात्मक रूप से तापमान, पवन गति और चमकीली धूप के अनेक घंटों से सहसंबंधित है। इन धातुओं के महत्वपूर्ण मानवोद्भवी स्रोत जैसे कि धातु प्रगलन (Zn), बैटरी विनिर्माण (Cd, Ni) तेल दहन (Ni) और यानीय उत्सर्जन (तेल पाइप/अपघर्षण) (Zn, Cd, Cr) है। इन स्रोतों के उत्सर्जन को रोका जाता है और शीत में प्रतिलोमन परतों (inversion layers) में स्थिर किया जाता है जिसके परिणामस्वरूप परिवेशी ऐरोसॉल में अधिक प्रचुरता होती है।

तीन घटकों की पहचान की गई जिनके अनुसार MV मे 75.5**%** डाटा का अन्तर था। PC1, Cd, Ni, Pb, Zn, और Cr, से भारित था, जो संभवतः पहाड़गंज औद्योगिक इस्टेट से अैद्योगिक उत्सर्जन के स्रोतों को सूचित कर रहा था। PC2 में Mn, Cd, Cu अधिक मात्रा में और Fe कम मात्रा में भारित थे, जो सड़क के धूल के यानीय पुनर्निलम्बन और ब्रेक ड्रम अपघर्षण कणों को निर्दिष्ट कर रहे थे। PC3 में Fe और Pb भारित थे जो भूपर्पटी और सड़क की धूल, जिसमें संभवतः अपशिष्ट Pb योगज हैं, के पुनर्निलम्बन को निर्दिष्ट कर रहे थे।

इस अध्ययन में Ni और Cd का समग्र वार्षिक औसत (क्रमशः 316 ± 161 और 14 ± 12 ng^{m-3}), निर्धारित मानक (Ni: 20 ng m^{-3} के लिए NAAQS और Cd:5 ng m^{-3} , योरोपीय यूनियन लक्ष्य EU डाइरेक्टिव्ज, 2004/107/CE) से क्रमशः लगभग 15 और 3 गुणा अधिक थे। US EPA' Weight- of-evidence (वे ऑफ इविडेन्स) के अनुसार Ni को ग्रुप 'ए' प्रदूषकों (मानव कैन्सरजन के रूप प्रसिद्ध) और कैडमियम को ग्रुप B1 प्रदूषकों (संभवतः मानव कैन्सरजन) के रूप में वर्गीकृत किया गया है। सोसाइटल इन्क्रीमेन्टल लाइफ टाइम कैन्सर रिस्क (ILCR) को यह मानकर कि दिल्ली की जनसंख्या 17 मिलियन होगी, परिकलित किया गया था और इन प्रदूषकों के वर्तमान सान्द्रण पर जीवन काल में अन्तःश्वसन प्रभावन पर विचार करते हुए यह पाया गया था कि दिल्ली में 2908 तक अतिरिक्त कैन्सर मामले (Cd 102, , Cr(vi) के 2559 और Ni के 247) संभव हैं।

यह स्पष्ट है कि देश में कैडमियम और अन्य भारी धातुओं की उपस्थिति के अनेक विविध प्रकार के स्रोत हैं और इनका हवा, पानी, और पौधों में होने के कारण देश के विभिन्न भागों पर बढ़ते बुरे प्रभावों को देखा जा रहा है। इन धातुओं के स्रोतों के बेहतर प्रबन्धन की आवश्यकता है और इन धातुओं के और आगे प्रसार रोकने के लिए विभिन्न पृथक्करण अथवा रोकने की पद्धतियों (उदाहरणार्थ संयत्र) को और अधिक प्रचलन में लाने की आवश्यकता है।

संक्षेप में, उपर्युक्त विश्लेषण यह समझने के लिए किया गया कि विभिन्न औद्योगिक उत्पादों के कारण कैडमियम की उपस्थिति कैसे हो रही है और अपने देश में प्रतिवेदित स्तर क्या है? इसके विपरीत, वातावरणीय प्रदूषण के संबंध में PV उद्योग की चिंता से अच्छी पद्धतियों का विकास हो सकता हैं जिनका अनुपालन करने और आगे अधिक प्रोत्साहित करने की आवश्यकता है।

1.च परियोजना के उद्देश्य

हमारी इस परियोजना के अन्तर्गत दो मुख्य प्रश्न हैं जिनका हमें विश्लेषण करना है:

(i) क्या CdTe PV तंत्र सामान्य प्रचालन अवस्था में वातावरणीय, स्वास्थ्य अथवा संरक्षा जोखिम और उत्पाद के जीवन काल के अन्त तक (पुनर्चक्रण सहित) पूर्वाभाषी दुर्धटनाओं को निरूपित करते है?

(ii) अन्य ऊर्जा विकल्पों की तुलना में CdTe PV तंत्रों के बड़े पैमाने पर प्रस्तरण (deployment) से वातावरण, लोक स्वास्थ्य, जन संरक्षा पर समग्र जीवन प्रभाव क्या हैं?

1.छ मलेशिया दौरे की रिपोर्ट

प्रोफेसर वीरेश दत्ता, प्रो. टी.आर. श्रीकृष्णन, डॉ. वी.के. कोमराला, और प्रो. यू.पी. सिंह से बनी एक टीम ने फर्स्ट् सोलर के CdTe PV मॉड्यूल उत्पादन और पुनर्चक्रण सुविधा कुलिम (la;a= 5 vkSj 6), कुलिम हाइटेक पार्क, केदाह दारुल अमन, मलेशिया का 21 और 22 मई, 2012 को दौरा किया। परियोजना टीम का दौरा CdTe मॉड्यूल उत्पादन और पुनर्चक्रण से संबंधित पर्यावरणीय, स्वास्थ्य और संरक्षा (EHS) मुद्दों तथा कंपनी में व्यवहार में लाई जा रही EHS प्रक्रियाओं को समझने और उनका मूल्यांकन करने के लिए था।

प्रथम दिन (21 मई, 2012 को) निदेशक, सस्टेनेबल डिवेलपमेन्ट ऐन्ड ऐनवाइरन्मेन्ट और फर्स्ट् सोलर के उत्पाद संरक्षा निदेशक ने अपने प्रस्तुतीकरण दिए और हमने भी उत्पादन संयंत्र में दौरे का मार्गदर्शन किया।

आरंभिक प्रस्तुतीकरण में कंपनी के संक्षिप्त इतिहास पर प्रकाश डाला गया। इसे वर्ष 1999 में संगठित किया गया और वर्ष 2002 से CdTe तनु फिल्म प्रकाश–वोल्टीय मॉड्यूल का

उत्पादन प्रारम्भ किया गया। फर्स्ट् सोलर, मलेशिया संयंत्र वर्तमान में अपनी छह CdTe मॉड्यूल सुविधाओं के 2/3 भाग का उत्पादन करता है जबकि ओहियो, यू.एस.ए. और फ्रैंकफुट–ओडर, जर्मनी संयंत्र शेष 1/3 भाग का उत्पादन करते हैं। CdTe PV मॉड्यूल एवं विनिर्माण प्रक्रम पूर्णतः समेकित, स्वचालित एवं सतत् तनु फिल्म प्रक्रम है। प्रस्तुतीकरणों में उन्होंने 2002 के 7.1% के औसत रूपान्तरण दक्षता से वर्तमान में 12.4% तक ऐतिहासिक सुधार को बाहरी क्षेत्र परीक्षण से संबंधित दीर्घकालिक स्थायित्व डाटा के साथ प्रदर्शित किया। CdTe माड्यूल उत्पादन प्रक्रम में जो प्रक्रिया सम्मिलित है उसमें मॉड्यूल बनाने के लिए अपेक्षित समय, कॉच अवस्तर पर वापस लेने हेतु भावी पहचान और पुनर्चक्रण के लिए फिल्म लेपन से पूर्व बार–कोडिंग का कार्यान्वयन स्पष्ट किया गया। स्थल दौरे से पूर्व उच्च दक्षता के फिल्टरों के प्रयोग से संवातन और वायु निस्यंदन प्रक्रिया पर परिचर्चा की गई।

उत्पादन प्रक्रम TCO लेपित कॉच अवस्तरों (60 सेमी. x 120), PVD उपयोग प्रक्रम से तनु (सब माइक्रान स्केल) CdS निक्षेपण और फर्स्ट् सोलर के स्वामित्व के प्रक्रम के प्रयोग से बहु चेम्बरों में अपेक्षाकृत अधिक मोटी परतों को साफ करने से से शुरू होता है। संस्पर्शी निक्षेपण, कक्ष क्षेपण द्वारा किया जाता है। इसी बीच, लेसर लेखन के प्रयोग से समेकित मॉड्यूल संविरचन के लिए सेल पृथक किए जाते है। असल में, नया लेसर तंत्र संस्थापन के अन्तर्गत था और कैडमियम समाहित कचरे की संभावना, जिसे छोड़ा जा रहा था, की समग्र प्रक्रम उपकरणों के लिए उपयुक्त कबरेज प्रदान कर देख–रेख की गई। प्रो. सिंह ने बताया कि बालू क्षेपण द्वारा कोर अलग करने की प्रक्रिया मॉड़्यूल संविरचन के लिए अपनाई जाती थी जो कैडमियम को भी निर्मुक्त कर सकती थी। ऐसा प्रतीत होता है कि हाल ही में फर्स्ट् सोलर ने बालू क्षेपण को छोड़ दिया है और लेसर आधारित प्रक्रिया अंगीकार कर ली है। कैडमियम युक्त परतों को एक चेम्बर में ध्यानपूर्वक एकत्रित किया जाता है और तत्पश्चात् पुनर्चक्रण किया जाता है। प्रकाश एवं अन्य मानक स्थितियों में मॉड्यूल परीक्षण सुनिश्चित करते हैं कि मॉड़यूल क्षेत्र परिस्थितियों में अपेक्षित विशिष्टताओं के अनुसार, निष्पादन करने में सक्षम है।

दूसरा दिन, मॉड्यूल पुनर्चक्रण, संरक्षा विहगावलोकन और व्यावसायिक स्वास्थ्य (OH) और औद्योगिक स्वास्थ्य (IH) मुद्दों पर केन्द्रित था। फर्स्ट् सोलर की भविष्य दृष्टि शून्य व्यावसाहिक बीमारी की है, जिसमें व्यावसायिक स्वास्थ्य जोखिम के स्रोतों की पहचान, मूल्यांकन और नियंत्रण की उपयुक्त प्रणाली सम्मिलित है। KLM संयंत्र के लिए उत्तरदायी औद्योगिक स्वास्थ्य (IH) दल की संरचना दिखाई गई थी, जिसके मुखिया एशिया EHS के निदेशक हैं तथा प्रबन्धन KLM औद्योगिक स्वास्थ्य (IH) प्रबन्धक द्वारा किया जाता है। सम्पूर्ण औद्योगिक स्वास्थ्य (IH) दल में सुरक्षा एवं स्वास्थ्य, रासायनिक संरक्षा, प्रभावन मूल्यांकन, श्रवण शक्ति संरक्षण, विकिरण सुरक्षा और आन्तरिक वायु गुणवत्ता सम्मिलित है। फर्स्ट् सोलर औद्योगिक स्वास्थ्य रक्षा कार्यक्रम में कैडमियम प्रबन्धन, औद्योगिक स्वास्थ्य प्रभावन मूल्यांकन, श्वसन संरक्षा, संवातन और HEPA परीक्षण, लेसर सुरक्षा, निष्क्रिय गैस सुरक्षा, लेड सुरक्षा सम्मिलित है। बहुत ही महत्वपूर्ण औद्योगिक स्वास्थ्य रक्षा प्रबंधन, कैडमियम से संबंधित है और प्रस्तुतीकरण के दौरान यह उल्लेख किया गया था कि के.एल.एम. में स्टेट ऑफ दि आर्ट HEPA फिल्टरन तंत्र सहित कैडमियम नियंत्रण के लिए लिखित कार्यक्रमों का विस्तृत सेट और नीतियॉ, निजी संरक्षी उपकरण, आवधिक रक्त और मूत्र विश्लेषण की सुविधाएं उपलब्ध हैं। अनुमेय प्रभावन सीमा (PEL), जो कि नियामक एजेन्सियों द्वारा निर्धारित स्तर है, तक किसी कर्मचारी को विशेष समय में बिना श्वसन संरक्षण के कैडमियम के समपर्क में रहने दिया जाता है। मलेशिया में 8 घंटे अनुमेय प्रभावन सीमा 10 $\mu g/m^3$ है, जबकि फर्स्ट् सोलर की वैश्विक रूप से 1 $\mu g/m^3$ आन्तरिक सीमा है। यू.एस.ए की कैडमियम के लिए मानक अनुमेय प्रभावन सीमा 5 $\mu g/m^3$ है।

सुरक्षित कार्यस्थल, सुनिश्चित करने के लिए फर्स्ट् सोलर, औद्योगिक स्वास्थ्य रक्षा वायु नमूना नीतियॉ कार्यान्वित करता है। इस सुविधा के विनिर्माण क्षेत्र से किसी भी प्रकार के जोखिम को पहचानने और उसे कम करने के लिए बार–बार वायु के नमूने लिए जाते हैं। कैडमियम वायु प्रतिचयन (air sampling), क्षेत्र नमूनों के साथ–साथ निजी रूप से भी किया

जाता था। कार्य निष्पादन के दौरान संबंधित सहकर्मी, जो सैंपल उपकरण ले जाते हैं, उन पर सैंपल लेने की समयावधि के दौरान, मापने की यह पद्धति संभावित प्रभावन को मापेगी। प्रतिचयन (sampling) प्रक्रम क्षेत्र में, नमूनों को विशिष्ट स्थानों से संग्रहित किया जाएगा, जो क्षेत्र के कैडमियम स्तर को मापेगा। सामान्य प्रचालन के दौरान वायु नमूना परीक्षण अनुमेय प्रभावन सीमा के नीचे दिखाए गए थे, विनिर्माण क्षेत्र के कैडमियम स्तर का औसत 0.17 $\mu g/m^3$ है जबकि पुनर्चक्रण क्षेत्र का लगभग 0.19 $\mu g/m^3$ है।

व्यावसायिक स्वास्थ्य रक्षा के अन्तर्गत हमने जैविक अनुवीक्षण पर भी प्रस्तुतीकरण देखा कि यदि एक बार किसी व्यक्ति को प्रतिवर्ष 30 दिन से अधिक का प्रभावन हो जाता है तो उसके रक्त और मूत्र के नमूनों को फर्स्ट् सोलर द्वारा अनुवीक्षित किया जाएगा। उनके सुरक्षा कार्यक्रम में कैडमियम प्रभावन के स्तर को संदर्भ मानों के अन्तर्गत नीचे रखा गया है, जैसे कैडमियम की उपस्थिति रक्त के लिए 5.0 के स्थान पर 0.94 और मूत्र में 3.0 के स्थान पर 1.6 का स्तर रखा हुआ हैं। हम यह भी समझे हैं कि प्रत्येक व्यक्ति के शरीर में कैडमियम की कुछ मात्रा संचित है ; धीरे–धीरे हमारा शरीर कैडमियम की कुछ मात्रा को दूर कर देगा। हमारे शरीर में कैडमियम का मुख्य स्रोत भोजन है। कैडमियम की प्रचुरता वाले आहार हैं आर्गन मीट, पत्तेदार सब्जियॉ, आलू, खाद्यान्न, मूँगफली, सोयाबीन और कैडमियम से प्रदूषित पानी या मिट्टी, या मिट्टी में उगे खाद्यान्न हैं। फर्स्ट् सोलर का पहले का डाटा, फर्स्ट् सोलर में कैडमियम प्रभावन के नियत्रण को अभिपुष्ट करते हुए यह भी पुष्टि करते हैं कि समग्र परिणाम नियामक सीमा से उपयुक्त रूप से नीचे हैं।

स्थल दौरे के दौरान यह देखा गया कि आन्तरिक अध्ययनों के साथ–साथ बाहरी एजेन्सियों द्वारा किए गए अध्ययनों ने प्रमाणित किया है कि उत्पादन में प्रयुक्त पदार्थों के रासायनिक गुणधर्मों को ध्यान में रखते हुए कंपनी द्वारा अनुपालित प्रक्रियाएँ सबसे उत्तम स्तर की हैं। इसी प्रकार की प्रमाणित सुरक्षा प्रक्रियाएँ फर्स्ट् सोलर के सभी उत्पादन संयंत्रों में अनुपालित की जा रहीं हैं। फर्स्ट् सोलर ने एक व्यावसायिक स्वास्थ्य और संरक्षा प्रबन्धन तंत्र स्थापित किया है जो कर्मचारियों और आगन्तुकों के किसी भी जोखिम को नष्ट और न्यूनतम

करता हैं। संयंत्र दौरे के दौरान, इस तंत्र और एप्रोच का एक घटक यह है कि हमें भी जूते उतारने और धूपी चश्मों और एयर प्लग इस्तेमाल करने की जरूरत थी। प्रस्तुत जीवन चक्र विश्लेषण डाटा ने यह भी प्रदर्शित किया है कि CdTe प्रौद्योगिकी Cd की निरर्थक मात्रा और अन्य विषालु पदार्थों को, प्रकाश–वोल्टीय से संबद्ध ज्ञात लाभों को प्रदान करते समय उत्सर्जित कर देती है [17]।

पुनर्चक्रण संयंत्र के दौरे ने प्रयोज्य पदार्थों की पुनःप्राप्ति (recovery) के लिए मॉड्यूलों को प्रक्रमित करने की प्रक्रिया भी स्पष्ट कर दी गई है। मलेशियाई सुविधा में प्रथम सोलर के अन्तर्गत सबसे बड़ा पुनर्चक्रण और प्रक्रमण संयंत्र होगा और मॉड़यूलों को नजदीकी देशों की स्थापनाओं से जर्मन सुविधा में वहन करने के लिए आवश्यकता को घटाने में सक्षम होगा जैसे कि वर्तमान में किया जा रहा है। असल में इसमें एक मुद्दा हो सकता है और वह माड्यूलों को आयात और निर्यात करने के लिए सरकारी अनुमति की। इसके लिए कंपनी को मलेशिया सरकार के साथ समाधान हेतु सतत् कार्य करने की आवश्यकता है।

2. परिणाम और विचार–विमर्श

2.क CdTe प्रकाश–वोल्टीय से वातावरणीय प्रभाव

प्रकाश–वोल्टीय उद्योग के पर्यावरण और स्वास्थ्य पर कोई प्रत्यक्ष बुरे प्रभाव नहीं हैं [12, 18]। तेनाकीज द्वारा 2004 [4] में ब्रुक हैवन नेशनल प्रयोगशाला, यू.एस.ए. में किया गया जीवन चक्र विश्लेषण, कैडमियम और टैल्यूरियम संबंधी कच्चे माल के उत्पादन से संबंधित उत्सर्जन का विस्तृत विवरण प्रस्तुत करता है। यह अध्ययन माल की इन्वेन्टरी और उत्पाद के आन्तरिक और बाहरी ऊर्जा प्रवाह के विश्लेषण और ऐसे प्रवाहों के प्रभाव के मूल्यांकन पर केन्द्रित है। उदाहरणार्थ, (1) Cd और Te का उत्पादन, (2) CdTe PV का विनिर्माण, (3) जीवनकाल के अन्त पर निपटान/पुनर्चक्रण, (4) सकल वायुमंडलीय उत्सर्जन की अन्य ऊर्जा प्रौद्योगिकियों से तुलना भी प्रस्तुत की गई है। थेनाकी और अन्य सहयोगियों [5] ने जीवन चक्र उत्सर्जन विश्लेषण के बाद प्रतिवेदित किया है कि CdTe PV, जिसमें PV प्रौद्योगिकियों में सबसे कम कार्बन फूट प्रिन्ट और तीव्रतम ऊर्जा पेबैक अवधि (EPT) है, सहित जीवाश्मी ईंधन संयंत्रों के CO_2 e /kWh के 500 से 1100 g की तुलना में प्रकाश–वोल्टीय तंत्रों में CO_2 eq/kWh का लगभग 17 से 39 g उत्सर्जन है। जीवन चक्र विश्लेषण में ग्रीन हाउस गैसों के अतिरिक्त यह पाया गया कि SO_2, NO_x जैसे अन्य प्रदूषक और प्रकाश–वोल्टीय उद्योग से कणिकीय पदार्थ परम्परागत जीवाश्मी ईंधन संयंत्रों के लगभग ~2-4% है [5]। थेनाकी और अन्य सहयोगियों ने सौर सेल (प्रगलन और उत्पादन), माड्यूलों और तंत्रों के लिए पदार्थों के उत्पादन हेतु जीवाश्मी ईंधन आधारित ऊर्जा के प्रयोग से जीवन चक्र उत्सर्जनों का मूल्यांकन किया हैं। शोध पत्र के अनुसार Si माड्यूलों से ग्रीन हाउस गैसों का उत्सर्जन 30–45 g CO_2 eq/kWh और इन मॉड्यूलों का EPT 1.7 – 2.7 वर्षों तक है। Cd Te PV माड्यूलों (बिना फ्रेमों) के लिए संगत राशियॉ 24g CO_2 eq/kWh और जमीन में गढ़ी हुई स्थापनाओं के लिए 1.1 वर्ष है। CdTe PV माड्यूलों में क्रिस्टलीय Si के GHG उत्सर्जन की तुलना में लगभग आधा उत्सर्जन होता है। निष्कर्षतः यह कहा जा सकता है कि PV तंत्र जो

विशेष रूप से CdTe का विशेष रूप से इस्तेमाल कर रहे हैं, में भूमंडलीय ऊष्मन को कम करने की महत्वपूर्ण क्षमता है। क्योंकि PV तंत्रों का जीवनकाल 20 वर्षों तक बढ़ने की आशा है, अतः एक निम्न EPT उपाय जिससे तंत्र अपने लाभ के लिए अधिक शीघ्रता से अपेक्षित ऊर्जा की पुनःप्राप्ति कर सके और अपने शेष जीवनकाल के ग्रिड विद्युत को विस्थापित कर सके। इसका सार तालिका 2.1 में दिया गया है।

तालिका 2.1 GHG उत्सर्जन एवं EPT

PV टाइप	पूर्वानुमान	GHG उत्सर्जन	EPT
Si मॉड्यूल	छत में आरोपित 0.75 PR,1,700 kWh/m^2/yr	30-45 g CO_2 eq/kWh	1.7 – 2.7 वर्ष
CdTe	जमीन में आरोपित 0.8PR 1,800kWh/m^2/yr 30 वर्ष का जीवन काल	24 gCO_2 eq/kWh	1.1 वर्ष

अब हमें सौर सेल और तंत्रों के उत्पादन और प्रचालन के दौरान वातावरण में CdTe PV उद्योग से भारी धातु (कैडमियम) के उत्सर्जन के विवरण पर नजर डालने की जरूरत है। CdTe सौर सेल के विनिर्माण के दौरान उत्सर्जन की मात्रा, कोयला शक्ति आधारित संयंत्रों [6] से उत्सर्जित कैडमियम के 2 ग्राम PV तंत्र प्रति गीगावाट–प्रतिघंटा उत्पादन की तुलना में ऊर्जा [4] के प्रति गीगावाट–प्रतिघंटा 0.016 ग्राम होगी। जीवाश्मी ईंधन आधारित पावर संयंत्रों की तुलना में CdTe PV प्रौद्योगिकियों का वातावरण में ग्रीन हाउस गैसों के उत्सर्जन और अन्य भारी धातुओं जैसे कैडमियम के उत्सर्जन में ~89-98% कमी भी प्रदर्शित की गई थी [5]। कैडमियम की [4] वातावरणीय निर्मुक्तियों को घटाने की कार्य नीतियों के भाग के अन्तर्गत पहला कदम है जिंक के उत्पादन और खपत पर कटौती का होना चाहिए, जो कि कठिन है क्योंकि जिंक को इस्पात पर कलई चढ़ाने के लिए प्रयोग किया जाता है, और दूसरा यह है कि कैडमियम का इस प्रकार इस्तेमाल हो ताकि वातावरण में इसके प्रवाह को रोका जा

सके। उदाहरणार्थ, जैसा कि आगे अनुच्छेद 2.4 में विचार किया गया है, जीवन चक्र विश्लेषण निरूपित करता है कि CdTe PV क्षेत्र के अधिक विकास में समग्र वैष्विक कैडमियम संबंधी पर्यावरणीय प्रदूशण को बढ़ने की बजाय असल रूप से कम करने की क्षमता है। CdTe PV उद्योग से वातावरण में कैडमियम का प्रवाह, CdTe तनु फिल्मों को तैयार करने की पद्धति और वायु उत्सर्जन और अपशिष्ट जल उपचार के लिए संबद्ध इंजीनियरी नियंत्रणों पर भी निर्भर करता है।

विद्युत और ईंधन खपत से PV तंत्र के लिए जीवन चक्र वायुमंडलीय कैडमियम उत्सर्जनों को रिब्बन–Si, mc-Si, mono-Si, CdTe, ठोस कोयले, इग्नाइट, प्राकृतिक गैस, तेल, नाभिकीय, जलीय और UCTE (यूनियन फॉर दि कोआर्डिनेशन ऑफ ट्रांसमिशन ऑफ इलेक्ट्रिसिटी) औसत के लिए भी मूल्यांकित किया जाता है। तेल से उत्सर्जित 43.3g/GWh की Cd उर्त्सजन की तुलना ने PV तंत्र से उत्सर्जन काफी नीचे, और विशेषकर CdTe माड्यूल के लिए यह 0.3 g/GWh रहता है (तालिका 2, पहले भी चित्र 1 में दिया गया है)।

तालिका 2.2 वायुमंडलीय कैडमियम उत्सर्जन [5]

प्रकाश–वोल्टीय टाइप और ईंधन टाइप	वयुमंडलीय कैडमियम उत्सर्जन
रिब्बन-Si	0.8 g/GWh
mc-Si	0.9 g/GWh
मोनो-Si	0.9 g/GWh
CdTe	0.3 g/GWh
ठोस कोयला	3.1 g/GWh
लिग्नाइट	6.2 g/GWh
प्राकृतिक गैस	0.2 g/GWh

तेल	43.3 g/GWh
नाभिकीय	0.5 g/GWh
जलीय	0.03 g/GWh
UCTE औसत	4.1 g/GWh

मरिस्का डे वाइल्ड लाइफ स्काल्टन [19] द्वारा ऊर्जा पे बैक समय और कामर्शियल PV मॉड्यूलों के कार्बन फूट प्रिन्ट पर भूगोल के प्रभाव का अनुसन्धान किया गया। कामर्शियल छत की सपाट प्लेट PV तंत्रों के लिए ऊर्जा पे बैक समय और कार्बन फूट प्रिन्ट, वास्तविक देशज मिश्र आधारित माड्यूल आधारित सिलिकन के लिए यथेष्ट रूप से भिन्न–भिन्न होते हैं। CdTe तनु फिल्म PV प्रौद्योगिकी का ऊर्जा पे बैक समय और कार्बन फूट प्रिन्ट देशज ऊर्जा मिश्रण से कम संवेदनशील होता है क्योकि सिलिकन आधारित PV प्रौद्योगिकियों की तुलना में CdTe PV मॉड्यूल उत्पादन में कम बिजली खपत होती है। इस अध्ययन में माना गया है कि तंत्रों को दक्षिणी योरोप (1700 $kWh/m^2.year$) में संस्थापित किया जाएगाः

- ऊर्जा पेबैक समय ~0.8 (CdTe) – 1.7(Si) years
- कार्बन फूट प्रिन्ट ~ 19(CdTe) – 34 g(Si) CO_2-eq/kWh

मरिस्का डे वाइल्ड स्कॉल्टन, और अन्य सहयोगियों [20, 21] ने जीवन चक्र के प्रभावों की खोज की और जीवन चक्र प्रभावों को कम करने के उन घटकों का उल्लेख किया जिन पर विचार किया जा सकता है, । सिलिकन, CdTe और CIGS नामक तीन PV प्रौद्योगिकियों के लिए उन्होंने निष्कर्ष निकाला कि सभी प्रौद्योगिकियों के वातावरणीय प्रभाव को उत्पादन में प्रयुक्त वैद्युत ऊर्जा ने बहुत अधिक प्रभावित किया है। किसी भी PV प्रौद्योगिकी के वातावरणीय प्रभाव को कम करने और संपोषणीयता को बढ़ाने के लिए हर एक को (1) ऊर्जा खपत घटाने अथवा PV मॉड्यूलों को उत्पादित करने के लिए पुनर्नव्य ऊर्जा का प्रयोग करने (2) पदार्थ खपत घटाने (कम कॉच, फ्रेमिंग नहीं) (3) उत्सर्जन घटाने (SF_6/NF_3, विषालु

पदार्थ), (4) मॉड्यूल दक्षता बढ़ाने, (5) जीवन काल को बढ़ाने और (6) पदार्थ पुनर्चक्रण पर विचार करना चाहिए।

यह स्पष्ट है कि CdTe तनु फिल्म प्रकाश–वोल्टीय प्रौद्योगिकियों से पावर के उत्पादन के जीवाश्मी ईंधन आधारित पावर की तुलना में अधिक लाभ हैं : अब मुद्दे निम्न से संबंधित हैं : (1) मॉड्यूल का रोजमर्रा का प्रचालन, (2) क्षेत्रों में सौर प्रकाश–वोल्टीय मॉड़यूलों के बृहत स्तर पर प्रस्तरण (deployment) के बाद महाविपत्ति की घटनाओं (आग लगने) के दौरान CdTe PV माड्यूलों में कैडमियम का उत्सर्जन एवं संपुटीकरण, (3) टूटे हुए मॉड्यूलों से कैडमियम का वर्षा जल से धुलकर बहने जैसी स्थिति, और (4) उनके उपयोगी जीवन काल के बाद क्या होगा?

इन पैनलों के रोजमर्रा के संस्थापन और प्रचालन चरणों के दौरान इनसे कैडमियम उत्सर्जन का कोई संबंध नहीं है। वातावरणीय जोखिम मूल्यांकन में यह पदर्शित किया गया था कि संस्थापन के पश्चात् अप्रत्याशित आग लगने से लगभग 99.96% कैडमियम कॉच [4, 6] में सुरक्षित रूप से संपुटित हो जाएगा। CdTe मॉड्यूल से कैडमियम का धुलना न्यूनतम होगा और वातावरणीय और स्वास्थ्य जोखिम नही होगा ; CdS और CdTe अर्धचालक परते, औद्योगिक स्तर सहित उच्च तापमान में कॉच की दो परतों के बीच (दब) सैंडविच हो जाती है [12], और CdTe का विलेयता गुणनफल अति निम्न (K_{sp} = 9.5 x 10^{-35}) [3] हो जाता है, CdTe का गलनांक 1041^{o}C है और 1050^{o}C पर वाष्पन शुरू हो जाता है, जो कि केवल आग लगने की बड़ी घटना हो सकती है। संपुटीकरण के अधिक प्रतिशत के कारण और आग लगने की घटना के दौरान वर्षा होने से न्यूनतम परिवेशी वायु परिक्षेपण और भूमि जल में न्यूनतम बहाव होता हैं : इनफील्ड (गोयड) माड्यूल टूट दर प्रतिवर्ष केवल 0.04% है [22]। परिवहन और संस्थापन के दौरान कुछ टूट–फूट हो सकती है, किन्तु फर्स्ट् सोलर में पूर्व निधिबद्ध वापस लेने और पुनर्चक्रण प्रक्रिया की व्यवस्था है। संस्थापन, रोजमर्रा के निरीक्षण एवं

पावर निर्गम (output) अनुवीक्षण निदान के पश्चात् भंग मॉड्यूलों को पुनर्चक्रण हेतु वापस निर्दिष्ट स्थलों पर ले जाने की जरूरत होती है। फर्स्ट् सोलर स्वतंत्र निधियन एवं प्रबन्धन के माध्यम से सभी प्रक्रियाओं के लिए मॉड्यूलों के उपयोगी जीवनकाल समाप्त होने के अन्त में उनको पुनर्चक्रण सुविधा प्रदान करता है।

2.ख पदार्थ पुनर्चक्रणः वातारवणीय आर्थिक और हितलाभ

जीवन काल की समाप्ति पर प्रबन्धन के महत्व के उदाहरण के रूप में विश्व का एक–तिहाई ताम्बा, वर्तमान में उपयोगी अनुप्रयोगों [23] में लगाने की वजह भू–भरतों में पाया जाता है। पुनर्चक्रण बड़ी मात्रा में कच्चे माल की बचत करेगा, रासायनिक उत्पादों में कमी आएगी और ऊर्जा/विद्युत का रूपान्तरण सफल होगा। विश्व को भविष्य में ऐसी सामग्री की जरूरत होगी जो पूर्णतः पुनर्चक्रणीय होगी और विनिर्माता को इसके उद्गम से जीवन काल के अन्त तक और पुनः उद्गम (cradle to cradle) की एप्रोच अंगीकृत करनी हेागी जो भुंक्त शेष उत्पादों से नव उत्पादों अथवा समान उत्पाद संगटकों के विनिर्माण में सहायता कर सके। पुनर्चक्रण, संसाधनों की उपलब्धता के जोखिम को कम करने की बहुत अच्छी कार्यनीति है। पुनर्चक्रण, प्राथमिक संसाधन रिक्तीकरण और सामान्यतः वातावरणीय कुप्रभावों को और पदार्थों की लागत को कम कर सकता है। यह सीमित उपलब्धता के प्रभाव को कम करके आपूर्ति श्रृंखला को विविधता प्रदान कर सकता है। अपर्याप्तता विशेषकर महत्वपूर्ण हो सकती है क्योंकि यह उद्योग प्रकाश–वोल्टीय पावर उत्पादन को बढ़ाने के लिए अपने वर्तमान स्तर से टेरावाट स्तर में पहुंचने का प्रयास कर रहा है जिसे विश्व के बड़े भाग की विद्युत आवश्यकताओं की पूर्ति करनी है।

फिर भी, पदार्थों का भू–वैज्ञानिक रूप से वितरण असमान है, और निष्कर्षण के लिए विविध प्रकार के प्रयास करने होते हैं। कैडमियम टैल्यूराइड (CdTe) और कॉपर इंडियम गेलियम (di) सेलेनाइड (CIGS) पर आधारित तनु फिल्म PV युक्तियों के लिए महत्वपूर्ण पदार्थ चुनौतियॉ हैं; किन्तु टेरावाट उत्पादन हेतु CdTe सेलों के लिए टैल्यूरियम और CIGS

सेलों के लिए गेलियम, इंडियम की उपलब्धता चिन्ता का विषय है क्योंकि ये अपेक्षाकृत रूप से भूपर्पटी पर दुर्लभ हैं। टैल्यूरियम, चार (Ge, Ga, In और Te) दुर्लभ पदार्थों में से एक ऐसा पदार्थ है जिसकी भावी मांग यह ध्यान में रखते हुए कि भविष्य में प्रकाश वोल्टीय उद्योग के विकास की बड़ी संभावना है, खतरे में है। जैसे कि कैडमियम और टैल्यूरियम, दोनों, जिंक, कॉपर और लेड उत्पादन के उपोत्पाद हैं, इन तत्वों के निष्कर्षण के लिए ऊर्जा PV उद्योग के लिए अतिरिक्त प्रतिबन्ध प्रस्तुत कर सकती है। हालांकि पूर्वानुमानित IEA तनु फिल्म PV बाजार की हिस्सेदारी की पूर्ति, वर्तमान में जिसे भावी इंडियम और टैल्यूरियम की उपलब्धता माना जाता है, से मध्य शताब्दी तक ही होने की संभावना है। [24]। इसके अतिरिक्त, भविष्य में प्राथमिक उत्पादन के दौरान बढी हुई पुनःप्राप्ति,, अर्धचालक परतों की मोटाई घटाकर, मॉड्यूलों की दक्षता और जीवन प्रत्याशा बढ़ाकर और जीवनकाल समाप्त मॉड्यूलों [12] को पुनर्चक्रित कर, पदार्थ उपलब्धता की चिन्ता कम हो जाएगी।

यद्यपि PV प्रौद्योगिकी का संपूर्ण विश्व में (विशेषकर उन देशों में जिन्होंने नीति बनाकर PV उत्पादन का विकल्प चुना है) प्रगति के लम्बे डग भरना जारी है, तथापि जीवनकाल समाप्त होने वाले PV तंत्रों को बंद करने के कार्य ने ध्यान आकर्षित किया है। सभी PV प्रौद्योगिकियों से आशा है कि मॉड्यूल अपने जीवन काल के अन्त के बाद भी प्रदूषण का संभावित स्रोत न बने, इसके लिए या तो वे माड्यूल के उद्गम से जीवनकाल के अन्त तक या उद्गम से जीवनकाल की समाप्ति तक और पुनः उद्गम तक चलने वाले हों। वास्तव में हेल्ड और IIg [25] का शोध पत्र स्पष्ट उल्लेख करता है कि प्रक्रम में पुनःप्राप्त पदार्थ के पुनर्चक्रण सहित जीवन काल समाप्त होने के बाद उपचार के लिए संभावना उपलब्ध रहती है। वास्तव में यह संभव है कि माड्यूल संविचरन में प्रयुक्त पदार्थों (उदाहरणार्थ CdTe माड्यूलों में कैडमियम और टैल्यूरियम) की पुनःप्राप्ति के तदनुरूपी सेल डिजाइन के लिए पुनः संगटित किया जा सकता है, जो बाद में, PV विद्युत के टेरावाट स्तर या इससे अगले उच्च स्तर पर पहुंचने पर भी पदार्थों के समाप्त होने की संभावना को कम कर देता है। लागत निहितार्थ के अवमंदनकारी परिणाम हो सकते हैं किन्तु दिए गए तथ्य के आधार पर परम्परागत स्रोतों पर

आधारित विद्युत उत्पादन के अन्य विकल्पों को जलवायु परिवर्तन के कारण घटाना अथवा अनुरूपान्तरण (retrofit) करना होगा, यद्यपि लागत घटक पुनर्चक्रण विकल्प को सीमित न कर सके। यदि ऐस तरीके हैं जिनके कारण विषालु अवयव जल अथवा आहार चक्र में पहुंच जाते हैं, तो ऐसी संभावनाओं से बचने के लिए प्रक्रम में सुधार लाने की आवश्यकता है। वर्तमान में, वायु उत्सर्जन नियंत्रण और स्थल पर अपशिष्ट जल उपचार प्रक्रम कैडमियम और अन्य उत्सर्जनों को पुनर्चक्रण से अनुमेय नियामक सीमा से नीचे रखते हैं।

जब हम मॉड्यूल विनिर्माण एवं पुनर्चक्रण पर विचार करते हैं, तो सबसे बड़ी चुनौती प्रयुक्त मॉड्यूलों से ऊँची पुनःप्राप्ति दर सुनिश्चित करने के लिए बड़ी चुनौती हो सकती है। फर्स्ट् सोलर, पुनर्चक्रण ढांचे के विकास के द्वारा इस दिशा में कार्य कर रहा है। अधिकांश उत्पादों में विजातीयता के कारण पुनर्चक्रण प्रक्रम एक बड़ी चुनौती है ; ग्राहकों की सहभागिता सहित प्रौद्योगिकी में निवेश बहुत ही आवश्यक है और यह चुनौतीपूर्ण अर्थशास्त्र होगा। उदाहरणार्थ, कॉच से बहुलकीय पदार्थ और अर्धचालक पदार्थों को पृथक करना एक इंजीनियरी चुनौती है। यद्यपि, फर्स्ट् सोलर, वर्तमान में CdTe PV पुनर्चक्रण प्रक्रमों को वाणिज्यिक स्तर पर परिचालित कर रहा है और वर्तमान में संग्रहण और पुनर्चक्रण लागत को इसके मॉड्यूल लागत में सम्मिलित करता है। पुनर्चक्रण प्रक्रम में वैकल्पिक प्रकाश वोल्टीय और परम्परागत पावर तंत्रों [18] के जीवन चक्र की तुलना में तनु फिल्म प्रकाश वोल्टीय (विशेषकर CdTe) के जीवन चक्र में विषैला उत्सर्जन बहुत कम होता हैं। फर्स्ट् सोलर का उन पैनलों, जिनका वह निर्माण करता है, के लिए उद्गम से जीवनकाल के अन्त तक और पुनः उद्गम का दृष्टिकोण होता है। यह दृष्टिकोण विषालुता, संसाधन दक्षता और दुर्लभता की चिन्ताओं को कम कर सकता है। निश्चित दक्षता पर सक्रिय परत की मोटाई को कम करने के प्रयास आवश्यक पदार्थ की मात्रा को भी घटाते हैं और कुछ हद तक पदार्थ की उपलब्धता को सरल बनाते हैं [12] ।

2.ग CdTe PV मॉड्यूलों के पुनर्चक्रण के लिए फर्स्ट् सोलर के प्रयास

वतावरणीय जवाबदेही को प्रमाणित करने के लिए फर्स्ट् सोलर ने अपनी समग्र वातावरणीय संपोषणीयता एप्रोच के एक भाग के रूप में एक मॉड्यूल संग्रहण और पुनर्चक्रण कार्यक्रम शुरू किया है, जो कि उत्पाद देने का एक अभिन्न अंग है और शहरी भू–भरत उपयोग को न्यूनतम करेगा। इसकी अभिकल्पना निःशुल्क लागत संग्रहण और पुनर्चक्रण सहित उत्पाद जीवन चक्र के प्रबन्धन एप्रोच से समर्थ सौर मॉड्यूलों को मिलाकर सतत् ऊर्जा आपूर्ति स्थापित करने के लिए की जाती है। सभी मॉड़यूलों पर पुनर्चक्रण सम्पर्क सूचना का लेबल लगाया जाता है। पुनर्चक्रण प्रौद्योगिकी को बहुमूल्य कच्चे माल की पुनःप्राप्ति, पुनर्चक्रित पदार्थ की मात्रा अधिकतम करने और पर्यावरणीय प्रभावों को न्यूनतम करने के लिए अभिकल्पित किया जाता है। Te और Cd की अनुमानित पुनःप्राप्ति पुनर्चक्रण प्रक्रम में ~95% तक है ; अपरिष्कृत अर्धचालक पदार्थ को तृतीय पक्ष के पुनर्चक्रण भागीदार द्वारा नए माड्यूलों में प्रयोग हेतु अर्धचालक पदार्थ को तैयार करने के आगे के प्रक्रमण के लिए पैकेज बनाए जाते हैं। मॉड्यूल का ~90% तक का भार वापस प्राप्त कर लिया जाता है। इसमें से अधिकांश कॉच होता है, इसे नए कॉच के पदार्थों में प्रयोग किया जाएगा। इसके अतिरिक्त, पुनर्चक्रण समग्र जीवन चक्र प्रभाव को 6 से 10% तक और ~2% तक प्राथमिक ऊर्जा मॉग को कम कर सकेगा। अपने संयंत्र दौरे के दौरान पुनर्चक्रण प्रक्रम में हमने प्रभावी धूल नियंत्रण प्रक्रिया देखी, जो पूर्व फिल्टरों और उच्च क्षमता के कण वायु फिल्टर, जिनकी 99.95% दक्षता [27] है, से सज्जित था।

2.घ फर्स्ट् सोलर रिपोर्ट और साहित्य

वस्तुतः फर्स्ट् सोलर द्वारा कराए गए शोध पत्र और रिपोर्टों की विवेचनात्मक रूप से जॉच–परख की गई है जिसके मुख्य निष्कर्ष (जैसे पहले भी विवेचना की गई है) हैंः (1) वास्तव में CdTe PV तंत्रों में समाविष्ट कैडमियम यौगिकों की मात्रा अति न्यून ($<0.1 g/W_p$)

है और मॉड़यूल पुनर्चक्रण के निश्चित फर्स्ट सोलर कार्यक्रम में Cd यौगिकों और अन्य संभाव्य हानिकारक पदार्थों का PV संयंत्र से इसके जीवन काल में परिवेशी वातावरण में मिलने की संभावना भी नगण्य है और (2) कोयले का उपयोग करने वाली अनेक पावर प्रौद्योगिकियों ने अनयंत्रित तरीके से वातावरण में बड़ी मात्रा में कैडमियम का उत्सर्जन किया है जो कि असाधारण परिस्थितियों (उदाहरण के लिए आग लगने की घटना में भी) मे भी CdTe मॉड्यूल के अप्रत्याशित उत्सर्जन से भी अधिक मात्रा में है। Si सौर सेल आधारित प्रमुख PV प्रौद्योगिकियों में भी इन युक्तियों के लिए मिश्रित ऊर्जा का भाग अधिक होने के कारण इनसे बृहत् जीवन चक्र उत्सर्जन है [5]।

उदाहरणार्थ, इस विस्तृत अध्ययन में गोल्डर एसोसिएट्स, यू.के. (2010) [28] ने ''एन्वाइरन्मेटल रिस्क्स रिगार्डिंग दि यूज ऐन्ड फाइनल डिस्पोजल ऑफ CdTe PV मॉड्यूल्स ऐन्ड लीचिंग फ्राम CdTe PV मॉड्यूल्स'' पर NGI द्वारा प्रस्तुत रिपोर्टों की समीक्षा की और उस पर टिप्पणी की।

NGI ने अपनी ओर से एक विस्तृत अध्ययन किया है और योरोपीय यूनियन के अपशिष्ट वर्गीकरण, निक्षालन (leach) परीक्षण के साथ–साथ Cd और Te के जीवन काल मूल्यांकन और विषालुता की जॉच की है। उन्होंने निष्कर्ष निकाला कि CdTe एक गैर खतरनाक अपशिष्ट है और माड्यूल में निक्षालन की संभाव्यता कम है। निक्षालन परीक्षण के परिणाम बताते हैं कि जीवन काल समाप्त PV माड्यूल, गैर खतरनाक अपशिष्ट स्थल पर स्थिर असक्रिय खतरनाक अपशिष्टों के निपटान की अपेक्षा को पूरा करेंगे। इसके अतिरिक्त, प्रथम जीवनकाल समाप्त मॉड्यूलों को वापस लेने के पूर्व निधिबद्ध कार्यक्रम को संचालित करता है जिसके द्वारा भू–भरतों अथवा अनियंत्रित पद्धति से निपटान का जोखिम न्यूनतम हो जाता है।

टर्नी और थेनाकीज [29] ने बड़े पैमाने पर शक्ति संयंत्रों के संस्थापन और प्रचालन चरणों से संबंधित पर्यावरणीय मुद्दों पर विस्तार से विचार किया। बड़े पैमाने पर सौर शक्ति के संस्थापनो और प्रचालन के कारण पर्यावरणीय प्रभावों की पहचान के लिए लेखक ने गहनता से प्रकाशित साहित्य की समीक्षा की और उनके अध्ययन को निम्नलिखित उप खंडों में विभाजित किया है:

- भूमि उपयोग
- मानव स्वास्थ्य एवं तंदुरस्ती
- वन्य जीवन एवं प्राकृतिक वास
- भू–जलीय संसाधन
- जलवायु और ग्रीन हाउस गैसें

निष्कर्ष यह था कि असल रेगिस्तान (< 3 सेमी. वार्षिक वर्षा) और अन्य स्थानों, जहॉ सौर आतपन प्रचंड है, और जहॉ बहुत कम वन्य जीवन और जीवभार उपस्थित है, में स्थित सौर शक्ति संयंत्र का लाभकारी पर्यावरणीय प्रभाव होगा। समग्र रूप से बड़े पैमाने में जमीन में गढ़े हुए सौर PV पावर संयंत्र परम्परागत जीवाश्मी ईंधन पर आधारित पावर उत्पादन की तुलना में पर्यावरणीय संकेतकों के संबंध में बहुत लाभदायी हैं।

उपर्युक्त बिन्दुओं का प्रभाव नीचे उद्धृत किया जाता है।

तालिका 2.3 (i) : पारम्परिक यू.एस. पावर उत्पादन की तुलना में सौर ऊर्जा का वन्य जीवन और प्राकृतिक आवास पर प्रभाव

पारम्परिक यू.एस. पावर उत्पादन की तुलना में सौर ऊर्जा का वन्य जीवन और प्राकृतिक आवास पर प्रभावः

प्रभाव श्रेणी	परमपरागत पावर की तुलना में प्रभाव	लाभदायक अथवा हानिकारक	प्राथमकिता	टिप्पणी
खतरनाक रासायनों का प्रभाव				
अम्ल वर्षा : SO NOx	उत्सर्जन घटाता है	लाभदायी	सामान्य	सौर पावर ~25 x less उत्सर्जित करता है।
नाइट्रोजन, सुपोषण	उत्सर्जन घटाता है	लाभदायी	सामान्य	सौर कम मात्रा में उत्सर्जित करता है।
पारा	उत्सर्जन घटाता है	लाभदायी	सामान्य	सौर ~30 x less उत्सर्जित करता है
अन्य,: उदाहरण के लिए Cd,Pb कण	उत्सर्जन घटाता है	लाभदायी	सामान्य	सौर कम मात्रा में उत्सर्जित करता है।
तेल छलकना	जोखिम घटाता है	लाभदायी	उच्च	टिप्पणी: BP क्षैतिज छलकना, वैलडेज छलकना
शारीरिक खतरा				
शीतलन जल अन्तर्ग्रहण जोखिम	जोखिम कम करता है	लाभदायी	सामान्य	ताप वैद्युत शीतलन निकल जाता है
पक्षी : उड्डयन जोखिम	संचरण लाइन	हानिकारक	कम	सौर को अतिरिक्त संचरण लाइन की जरूरत होती है।
सड़क और रेलवे जोखिम	जोखिम कम करता है	लाभदायी	कम	सड़क एवं रेलवे मृत्यु कम होगी
आवास स्थान				
आवास विखंडन	मध्यम	मध्यम	कम	अनुसन्धान और अवलोकन की जरूरत है

स्थानीय आवास गुणवत्ता	खनन घटाती है	लाभदायी	कम	ंखनन बनाम सौर फार्म: अनुसन्धान की आवश्यकता है।
भूमि रूपान्तरण	मध्यम	मध्यम	कम	अनुसन्धान और अवलोकन की आवश्यकता है।
जलवायु परिवर्तन*	परिवर्तन कम करता है	लाभदायी	उच्च	सौर ~25 x less ग्रीन हाउस गैस उत्सर्जित करता है।

तालिका 2.3 (ii) : पारम्परिक यू.एस. पावर उत्पादन की तुलना में सौर पावर का जलवायु परिवर्तन पर प्रभाव

पारम्परिक यू.एस. पावर उत्पादन की तुलना में, भूमि उपयोग और भूजलवैज्ञानिक स्रोतों पर प्रभाव

प्रभाव श्रेणी	परमपरागत पावर की तुलना में प्रभाव	लाभदायी अथवा हानिकारक	प्राथमकिता	टिप्पणी
मृदा अपरदन				
निर्माण के दौरान	कम मृदा हानि	लाभदायी	कम	वर्तमान कमी पर्याप्त है।
नित्यचर्या के प्रचालन के दौरान	अज्ञात	अज्ञात	कम	अनुसन्धान और अवलोकन की जरूरत है।
भूपृष्ठ जल वाह				
जल गुणवत्ता	जल गुणवत्ता परिष्कृत करता है	अज्ञात	सामान्य	अनुसन्धान और अवलोकन की जरूरत है।
हाइड्रोग्राफ समय निर्धारण	अज्ञात	अज्ञात	कम	अनुसन्धान और अवलोकन की जरूरत है।
अपशिष्ट प्रबन्धन				
जीवाश्मी ईंधनों का अपशिष्ट छलकना	अपशिष्ट प्रवाह को समाप्त कर देता है।	लाभदायी	सामान्य	सौर राख उड़ने आर तेल के छलकने को वर्जित करता है।
नाभिकीय अपशिष्ट प्रवाह	अपशिष्ट प्रवाह को समाप्त कर देता है	लाभदायी	उच्च	सौर, अपशिष्ट भंडार की आवश्यकता को नजरअंदाज करता है।
भौम जल				

भौम जल पुनर्भरण	अज्ञात	अज्ञात	सामान्य	अनुसन्धान और अवलोकन की जरूरत है।
जल शुद्धता	जल गुणवत्ता को परिष्कृत करता है	लाभदायी	सामान्य	अनुसन्धान और अवलोकन की जरूरत है।

तालिका 2.3 (iii) : पारम्परिक यू.एस. पावर उत्पादन की तुलना में, भूमि उपयोग और भूजलवैज्ञानिक संसाधनों पर प्रभावः

सौर पावर का, पारम्परिक यू.एस. पावर उत्पादन की तुलना में, जलवायु परिवर्तन पर प्रभाव

प्रभाव श्रेणी	परमपरागत पावर की तुलना में प्रभाव	लाभदायक अथवा हानिकारक	प्राथमकिता	टिप्पणी
भूमंडलीय जलवायु				
CO_2 उत्सर्जन	CO_2 उत्सर्जन को घटाता है।	लाभदायी	उच्च	जबरदस्त लाभ
अन्य GHG उत्सर्जन	GHG उत्सर्जन को घटाता है।	लाभदायी	उच्च	जबरदस्त लाभ
पृष्ठ ऐल्बिडो मे परिवर्तन	ऐल्बिडो को कम करता है।	सामान्य	कम	प्रभाव का विस्तार न्यून है।
स्थानीय जलवायु				
पृष्ठ ऐल्बिडो मे परिवर्तन	ऐल्बिडो को कम करता है।	अज्ञात	सामान्य	अनुसन्धान और अवलोकन की जरूरत है।
अन्य पृष्ठीय ऊर्जा प्रवाह	अज्ञात	अज्ञात	कम	अनुसन्धान और अवलोकन की जरूरत है।

बावेरियन एन्वायनमेन्ट प्रोटेक्शन एजेन्सी (2011) की ‘‘कैलक्युलेशन ऑफ इमिशन इन केस ऑफ फायर इन ए फोटोवैल्टेइक सिस्टम मेड ऑफ कैडमियम टैल्यूराइड मॉड्यूल्स’’ पर एक रिपोर्ट में मुख्यतः आग लगने की स्थिति में आस–पड़ोस और आम जनता पर CdTe मॉड्यूलों के प्रभाव पर चिन्तन है [30]। प्रत्याशित उत्सर्जन सान्द्रण की गणना आग लगने के

स्थल की दूरी पर आश्रित होकर की गई है और संबंधित वायु प्रदूषकों के मूल्यांकित परिणामों से तुलना की गई है।

वितरण का परिकलन अनेक पूर्व धारणाओं के साथ–साथ STOER V2.23 (आर. रॉकल, TUV अमवेल्ट GmbH, फायरवर्ग, 1994) कंप्यूटर प्रोग्राम का प्रयोग कर किया गया है। वितरण गणनाएँ किसी मॉड्यूल में निश्चित कैडमियम की मात्राः **केस** 1: 14.0g Cd/m^2 (Cd Te मॉड्यूल में औसत कैडमियम की मात्रा) और **केस 2:** 66.4 g Cd/m^2 (अधिकतम मान) के लिए की गई। प्रत्येक समय (50 m^2, 500 m^2 1,000 m^2) तीन भिन्न–भिन्न आकार के अग्नि क्षेत्रों पर विचार किया गया और 6 MW, 10 MW, 60 MW, 100 MW और 200 MW ऊष्मा निवेश लिया गया। कैडमियम उत्सर्जन के मान की तुलना AEGL-2 मानों (क्षिप्र उच्छादन निर्देशक रेखा स्तरों) से की गई। अन्त में यह निष्कर्ष निकाला गया कि जब Cd Te युक्त मॉडल पर आग लगती है तो (वितरण परिकलन का उपयोग कर) निकटतम आस–पड़ोस और आम जनता के लिए गंभीर खतरे को निश्चित रूप से रोका जा सकता है।

थेनाकी और अन्य सहयोगियों, [6] ने दूसरे शोध पत्र में आग के दौरान Cd Te PV मॉड्यूलों में कैडमियम के उत्सर्जन और संपुटीकरण पर लिखा है। यह अध्ययन कॉच से कॉच स्तरित Cd Te PV मॉड्यूलों पर आधारित है। आवासीय एवं वाणिज्यिक भवनों में आग लगने के दौरान प्रभावन को उद्दीपित करने के लिए वाणिज्यिक Cd Te PV माड्यूलों के 2.5 सेमी. x 3 सेमी. के आकार के टुकड़ों को 1100^0 सेल्सियस के तापमान तक ऊष्मित किया गया। इन परीक्षणों में ऊष्मन दर और समयावधि को स्टैन्डर्ड–अन्डर–राइटर्स लैबोरेटरीज (UL) और अमेरिकन सोसाइटी फॉर टेस्टिंग ऐन्ड मैटीरियल्स (ASTM) परीक्षण प्रोटोकोल के अनुसार निश्चित किया गया।

उत्सर्जन की जॉच और ऊष्मित Cd Te PV मॉड्यूलों के मैट्रिक्स (आव्यूह) में तत्वों के पुनर्वितरण के लिए चार प्रकार के विश्लेषण किए गए :

(1) तापमान के कार्य के रूप में नमूना भार हानि का मापन।

(2) गैसीय उत्सर्जन में Cd Te का विश्लेषण।

(3) सिन्क्रोटॉन ऐक्स–रे फ्लूओरेसीन माइक्रोप्रोव विश्लेषण का प्रयोग करके तप्त कॉच में Cd वितरण।

(4) अम्ल पाचित कॉच में Cd और Te के लिए रासायनिक विश्लेषण।

तापमान के कार्य के रूप में नमूना भार हानि के मापन के लिए तापभारात्मक परीक्षण किए गए । PV मॉड्यूल के टुकड़ों को ऐलुमिना प्लेटों में रखा गया और अवन के केन्द्रीय एक समान तापमान क्षेत्र में स्फटिक ट्यूब के अन्दर अवस्थित किया गया तथा चार विभिन्न तापमानों अर्थात् 760, 900, 1000 और 1100^0 सेल्सियस पर ऊष्मित किया गया। स्फटिक ट्यूब और कॉच की रुई (फिल्टर के रूप में प्रयुक्त) को नाइट्रिक अम्ल में 24 घंटों के लिए विक्षालित किया गया। कॉच की रुई के फिल्टरों से धातु को पूर्णतः निकालने के लिए संलुठन (टम्बलिंग) मशीन में 48 घंटों के लिए हाइड्रोक्लोरिक अम्ल और हाइड्रोजनपेराक्साइड घोल को प्रयुक्त कर अतिरिक्त विक्षालन द्वारा प्रमाणित किया गया। रिएक्टर की दीवारों को धोने, रिएक्टर निर्वातक में कॉच रुई के फिल्टरों को धोने से प्राप्त अम्लीय घोलों और मार्जक द्रवों को Cd और Te के लिए प्रेरणिक युग्मित प्लैज्मा (ICP) प्रकाशिक उत्सर्जन स्पेट्रोस्कोपी द्वारा विश्लेषित किया गया।

Cd और Te की भार हानि और उत्सर्जन को जिस प्रकार मापा गया, को निम्नानुसार तालिकाबद्ध और प्रस्तुत किया गया है।

तलिका 2.4 : द्रव्यमान की मापित हानि

			Cd उत्सर्जन		Te उत्सर्जन	
परीक्षण	T(^{0}C)	भार हानि (%नमूना)	(g/m^2)	(Cd अंश का %)	(g/m^2))	(Te अंश का %)
1	**760**	**1.9**	**0.056**	**0.6**	**0.046**	**0.4**
2	**900**	**2.1**	**0.033**	**0.4**	**0.141**	**1.2**
3	**1000**	**1.9**	**0.048**	**0.5**	**1.334**	**11.6**
4	**1100**	**2.2**	**0.037**	**0.4**	**2.680**	**22.5**

सिंक्रोटॉन आधारित ऐक्स–रे फ्लूओरोसीन माइक्रोप्राब विश्लेषण स्पष्ट रूप से प्रमाणित करते हैं कि Cd कॉच में विसरित होता है (पहले चित्र 2 में दिखाया गया है)। Cd रेखा की तुलना, जो प्रत्येक नमूने के मध्य और किनारों की बारीकी से जॉच करती है, इसके साथ–साथ नमूने की परिधि के माइक्रोस्कोपिक विश्लेषण के साथ सिद्ध करती है कि Cd की कुछ मात्रा में हानि, कॉच की दो शीटों को उन्हें एक साथ मिलाने से पूर्व बीच की जगह से होकर PV मॉड्यूलों के किनारों से होती है। यह हानि, कैडमियम के द्रव्यमान (अर्थात् नमूने के क्षेत्र) की इसकी परिधि के अनुपात के समानुपाती है और पूरे माड्यूलों में और कम होगी।

अन्तिम प्रयोग में ऊष्मित नमूनों के टुकड़ों को भू संपर्कित किया गया और लीथियम टेट्राबोरेट पाउडर से संगलित किया गया। संगलित द्रव को HNO_3 में विलीन किया गया और Cd और Te के लिए ICP विश्लेषण किया गया। इस विश्लेषण के परिणाम पुष्टि करते हैं कि कैडमियम के अंश स्थिर रहते हैं और इस प्रकार इसे कॉच के मैट्रिक्स में आवश्यक रूप से सुरक्षित रखा जाता है। 1100 ^{0} सेल्सियस पर दग्ध कॉच में **Te** सान्द्रण, अतप्त नमूने की तुलना में निम्न था, जिससे उच्च तापमान में **Te** हानि को सिद्ध करने वाले वायु उत्सर्जन विश्लेषण के परिणामों की पुष्टि होती हैं।

रागेई और थेनाकी [31] के योरोप में CdTe PV से Cd प्रवाह और उत्सर्जन पर विचार–विमर्श, योरोप में वर्तमान Cd उत्सर्जन दरों के सन्दर्भ में तीन संभावित परिदृश्यों पर आधारित हैं। ये हैं:

1. **निराशावादी परिदृश्य:** इस परिदृश्यवादियों का मानना है कि ढेर सारी बिजली से प्रौद्योगिकी को प्रतियोगी बनाने के लिए PV सेक्टर की वर्तमान पहलों के लिए सहायता अपेक्षित दीर्घकाल तक जारी नहीं रहेगी।

2. **संदर्भ परिदृश्य: य**ह अनुमान है कि CdTe PV तुलनात्मक रूप से अधिक तेज गति से विकसित होता रहेगा, जो सन् 2025 तक PV बाजार का 45% हो जाएगा, जिससे संगामी दक्षता बढ़ेगी और पदार्थ मॉग घटेगी। सन् 2050 तक नई, तृतीय पीढ़ी की PV युक्तियॉ CdTe PV से आगे निकलकर एक व्यापक विकल्प के रूप में होगी।

3. **आशावादी परिदृश्य:** PV सेक्टर के अन्तर्गत CdTe PV की प्रासंगिक भूमिका संदर्भ परिदृश्य की तरह ही मानी जाती है। इस परिदृश्य में जो है, उसके अतिरिक्त, टैल्यूरियम की आपूर्ति में संभावित व्यवरोधों की गणना के लिए 2050 तक CdTe PV की संस्थापित संचयी क्षमता के लिए हम 1 TWp की ऊपरी सीमा निश्चित करते हैं।

`तालिका 2.5 : 2025 और 2050 में CdTe PV के लिए Cd मॉग परिदृश्य

वर्ष और परिदृश्य	CdTe PV माड्यूल दक्षता (%)	CdTe PV माड्यूल जीवनकाल (वर्ष)	PV माड्यूल के लिए Cd मॉग (g/ KWp)[a]	संचयी संस्थापित क्षमता (GWp)	CdTe PV (टनो) के लिए वार्षिक प्राथमिक Cd मॉग	वार्षिक वैश्विक प्राथमिक Cd मॉगB का प्रतिशत
2008 'आधार वर्ष'	10.5	30	165	1.2	100	0.6
2025 'निराशावादी'	12.5	30	97	25	149	1.0
2025 'संदर्भ'	13.5	30	90	195	1790	11
2025 'आशावादी'	14.5	30	84	260	2700	16
2050 'निराशावादी'	12.5	30	69	240	324	2.2
2050 'संदर्भ'	14	30	62	820	1310	8.5
2050 'आशावादी'	16	35	54	1000	2440	15

Cd उत्सर्जन के प्रवाह का पता लगाने के लिए CdTe PV के जीवनचक्र को चार चरणों में प्रविभाजित किया जा सकता हैः

(i) Cd निष्कर्षण एवं परिष्करण

(ii) CdTe पाउडर उत्पादन एवं PV मॉड्यूल विनिर्माण

(iii) PV माड्यूल उपयोग, एवं

(iv) PV मॉड्यूल बन्द अथवा विस्थापित करना।

तंत्र अवयवों के शेष (BOS) के जीवन चक्र विश्लेषण को भी विश्लेषण में सम्मिलित किया जाता है। तीन भावी परिदृश्यों में CdTe PV से संबंधित औसत वार्षिक Cd उत्सर्जनों को यह मानकर कि माड्यूलों के अभिलक्षण अपने सोचे–समझे गए जीवनकाल के अन्त, (अर्थात् 2008–25, और 2026–2050 तक) तक अपनी प्रारम्भिक अवस्था में रहते हैं। सभी उत्सर्जनों की गणना PV तंत्र के पूर्ण जीवन चक्र के आधार पर की जाती है (तालिका 2.6):

तलिका 2.6 2025 और 2050 में CdTe PV के लिए Cd उत्सर्जन परिदृश्य

वर्ष ओर परिदृश्य	CdTe PV (kg/year) के कारण वायु मैं वैश्विक Cd उत्सर्जन	EU-27% में वायु में वर्तमान Cd उत्सर्जन की तुलना	CdTe PV (kg/year) के कारण पानी में वैश्विक Cd उत्सर्जन	EU-27% में पानी में वर्तमान Cd उत्सर्जन की तुलना में
2008 'आधार वर्ष'	0.8	0.0002	2.0	0.004
2025 'निराशावादी'	17	0.0043	40	0.07
2025 'संदर्भ'	130	0.033	310	0.56
2025 'आशावादी'	170	0.043	400	0.72
2050 'निराशावादी'	100	0.025	240	0.42
2050 'संदर्भ'	320	0.080	760	1.4
2050 'आशावादी'	350	0.088	840	1.5

निष्कर्ष थे कि 2050 में संस्थापित CdTe पावर के 1 TWp के सबसे अधिक विकास परिदृश्य के अन्तर्गत भी पानी और हवा में Cd से संबंधित उत्सर्जन अकेले EU-27 के अन्तर्गत वर्तमान वार्षिक कैडमियम उत्सर्जनों की तुलना में कम से कम दो से तीन परिमाण कोटि तक नीचे होगा। यह ध्यान देने योग्य है कि जब शक्ति उत्पादन में कोयले के स्थान पर विशेष रूप से CdTe PV को काम में लिया जाता है तो यह हवा में संबंधित कैडमियम उत्सर्जन को 100–360 गुणा कम कर देता है। लेखक का संभावित जीवन चक्र विश्लेष सुझाव देता है कि CdTe PV सेक्टर में प्रचुर विकास में समग्र वैश्विक कैडमियम संबंधी वातावरणीय प्रदूषण को बढ़ाने की बजाय वास्तविक रूप घटाने की शक्ति है।

कुल मिलाकर, इस समीक्षा में यह प्रयास रहा कि इसमें भारत केन्द्रित अध्ययन हो जिससे देश में प्रचलित परिस्थितियों के अन्तर्गत सावधानी से CdTe विनिर्माण में और CdTe PV तंत्र में सम्मिलित कैडमियम से संबंधित अन्य विषयों और विषैले पदार्थों के विस्तृत विश्लेषण की सावधानीपूर्वक जॉच हो। पहले ही अन्य देशों [32] में किए गए सभी समीक्षा अध्ययन कार्यप्रणाली, जिसका अनुकरण किया जाना है, पर प्रकाश डाल सकते हैं और निष्कर्ष

निर्देशात्मक हो सकते हैं जिनकी कोई भारतीय अध्ययन से आशा कर सकता है। हालांकि, वर्तमान परियोजना के अन्तर्गत इस विषय पर जॉच की गई कि यदि भारत में बड़ी संख्या में CdTe PV तंत्र स्थापित किए जाते हैं तो उसमें क्या कोई चिन्ता का विषय है ? कृपया ध्यान रहे कि भारतीय व्यवस्था में मॉड्यूल पुनर्चक्रण कार्यक्रम, फर्स्ट् सोलर के अन्तरराष्ट्रीय कार्यक्रम के रूप में उपलब्ध है।

3. निष्कर्ष

इस परियोजना के अन्तर्गत दो मुख्य प्रश्न हैं जिनकां हमें विश्लेषण करना थाः

(i) क्या CdTe PV तंत्र सामान्य प्रचालन अवस्था में वातावरणीय, स्वास्थ्य अथवा संरक्षा जोखिम और उत्पाद के जीवन काल के अन्त तक (पुनर्चक्रण सहित) पूर्वाभाषी दुर्धटनाओं को निरूपित करते है?

फर्स्ट् सोलर उत्पादन सुविधा में सभी अपेक्षित संरक्षा और सुरक्षा विशेषताए, जो कार्यस्थल में कैडमियम यौगिकों की उपस्थिति से उत्पन्न अप्रत्याशित स्थितियों का समाधान करने के लिए आवश्यक होती है, उपलब्ध हैं। परियोजना दल की फर्स्ट् सोलर कुलिम (मलेशिया) संयंत्र की यात्रा CdTe मॉड्यूलों के निर्माण में सम्मिलित प्रक्रिया और कंपनी द्वारा अनुपालित की जा रही प्रणालियों को समझने के लिए एक महत्वपूर्ण कदम था। इस दल द्वारा देखा गया कि जो भी कार्य–प्रयोग किया गया था उनका प्रक्रिया चरणों पर उपयुक्त नियंत्रण प्रयुक्त हो रहा था और विनिर्माण के दौरान किसी खतरनाक पदार्थ की निर्मुक्ति की संभावना नगण्य है। EHS पद्धतियॉ यह सुनिश्चित करती हैं कि यदि कामगारों को कोई प्रभावन हो गया तो उसका बहुत जल्दी ही पता लगाया जा सकता है।

यह भी अच्छी तरह सि़द्ध हो गया है कि मॉड्यूलों में कैडमियम यौगिकों की राशि अति न्यून ($<0.1 g/W_p$) है और कॉच की शीटों के अन्दर अच्छी तरह संरक्षित है। इसलिए सामान्य प्रयोग के दौरान कैडमियम के निर्मुक्ति की मुश्किल से ही कोई संभावना है। आग लगने और टूटे हुए मॉड्यूलों से विक्षालन की अति विकट स्थितियों के अन्तर्गत मॉड्यूल प्रदर्शित करते हैं कि यद्यपि सभी कैडमियम यौगिकों को निर्मुक्त किया जाना था, तथापि CdTe PV तंत्र के निकट क्षेत्र के अन्तर्गत कैडमियम का सान्द्रण/मानव स्वास्थ्य स्क्रीनिंग स्तर से [7, 22, 30] बहुत कम मात्रा में था। जब कैडमियम मोल्टन कॉच के अन्दर परिबद्ध हो जाएगा, तब इस पर

गौर किया जाए [6] । उत्पादन सुविधा में या तो उत्पादन सुविधा या फील्ड से जीवनकाल समाप्त/खुरचन मॉड्यूलों की देख–रेख के लिए समर्पित पुनर्चक्रण प्रक्रम है। पदार्थ उपलब्धता के मुद्दे को कम करने के लिए उपयोगी पदार्थ की अच्छी पुनःप्राप्ति, सेल अवयवों के पुननिर्माण में योगदान करेगी।

(ii) अन्य ऊर्जा विकल्पों की तुलना में CdTe PV तंत्रों के बड़े पैमाने पर प्रस्तरण (deployment) से वातावरण, लोक स्वास्थ्य, जन संरक्षा पर समग्र जीवन प्रभाव क्या हैं?

थेनाकी और अन्य सहयोगियों [5] ने जीवन चक्र उत्सर्जन विश्लेषण के बाद प्रतिवेदित किया है कि CdTe PV, जिसमें PV प्रौद्योगिकियों में से सबसे कम कार्बन फूट प्रिन्ट और तीव्रतम ऊर्जा पेबैक अवधि है, सहित जीवाश्मी ईंधन संयंत्रों के CO_2 eq/kWh के 500 से 1100 की तुलना में प्रकाश–वोल्टीय तंत्रों में, CO_2 eq/kWh का लगभग 17 से 39 g उत्सर्जन है। CdTe PV मॉड्यूलों में Si क्रिस्टलीय के GHG उत्सर्जन का लगभग आधा उत्सर्जन होता, अतः निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि PV तंत्र, विशेषकर जो CdTe प्रयोग कर रहे हैं, में भूमंडलीय ऊष्मन कम करने की महत्वपूर्ण क्षमता है।

कोयले को प्रयोग करने वाली वर्तमान पावर उत्पादन प्रौद्योगिकियों से वातावरण में अनियंत्रित रूप से बड़ी मात्रा में कैडमियम का उत्सर्जन होता है। यह उत्सर्जन असाधारण परिस्थितियों (उदाहरणार्थ आग लगने) के अन्तर्गत भी CdTe मॉड्यूलों से प्रत्याशित उत्सर्जन से भी बहुत अधिक मात्रा में होता है। यहॉ तक Si सौर सेलों पर आधारित प्रबल PV प्रौद्योगिकियों में इन युक्तियों में सम्मिलित ऊर्जा अधिक होने के कारण जीवन चक्र Cd उत्सर्जन अधिक है [5]। जीवन चक्र विश्लेषण यह भी सुझाव देता है कि CdTe सेक्टर में अधिक विकास में समग्र भूमंडलीय कैडमियम संबंधी वातावरणीय प्रदूषण [31] को बढ़ाने की बजाय वास्तवकि रूप से घटाने की क्षमता है।

CdTe PV पुनर्चक्रण प्रौद्योगिकी बहुमूल्य कच्चे माल को पुनःप्राप्त (recover) करने, पुनचर्कित सामग्री को अधिकतम करने और वातावरणीय प्रभावों को न्यूनतम करने के लिए अभिकल्पित की गई है। जीवनकाल समाप्ति पर प्रबन्धन के महत्व के एक उदाहरण के रूप में, विश्व का एक तिहाई तांबा वर्तमान में, उपयोगी अनुप्रयोगों में सम्मिलित करने के बजाय भू–भरतों में पाया जाता हैं [23] । पुनर्चक्रण, बड़ी मात्रा में कच्चे माल की बचत करेगा, रासायनिक उपोत्पाद की मात्रा घटाएगा और ऊर्जा/विद्युत को संरक्षण प्राप्त होगा।

4. आगे और अनुसन्धान

इन सभी अध्ययनों, विचार–विमर्शों और निष्कर्षों, जिन पर हम पहुंचे हैं, में हमने पूर्ण रूप से स्वीकार किया है कि फर्स्ट् सोलर का दावा कि उनके कैडमियम यौगिकों के आपूर्तिकार, वातावरणीय, संरक्षा और व्यावसायिक स्वास्थ्य मानकों और विनियमों का अति सख्ती से अनुपालन करते हैं यद्यपि हमने इस दावे को स्वतंत्र रूप से सत्यापित नहीं किया है क्योंकि यह परियोजना के कार्य–क्षेत्र में नहीं है। यह ध्यान देने योग्य है कि पूर्ति चेन भागीदार जो फर्स्ट् सोलर के लिए कैडमियम यौगिकों का उत्पादन और आपूर्ति करते हैं, यही भागीदार, उपयुक्त नियंत्रण सहित वापस अर्धचालक ग्रेड CdTe के लिए पुनर्चक्रित अर्धचालक पदार्थों के पुनर्प्रक्रमण का भी प्रबन्ध करेगा और इलेक्ट्रानिक उद्योग की आचार संहिता (EICC) जिसमें श्रमिक, स्वास्थ्य, संरक्षा, वातावरण, प्रबन्धन तंत्र और नीति के क्षेत्र में मानक निष्पादन का विवरण है, को कार्यान्वित करेगा।

पूर्व निधिबिद्ध मॉड्यूल संग्रहण और पुनर्चक्रण कार्यक्रम जिसे फर्स्ट् फर्स्ट् सोलर द्वारा प्रारम्भ किया गया है, को समझने की आवश्यकता है और सभी प्रौद्योगिकियों के लिए प्रकाश–वोल्टीय क्षेत्र में अच्छी प्रकिया के रूप मे प्रोत्साहित की जानी चाहिए। कार्यान्वयन मुद्दों पर विचार करते हुए, विशेषकर भारत के सन्दर्भ में, छोटे आकार के उपयोगकर्ता, हो सकता है कि वे मा्डॅयूल संग्रहण पुनर्चक्रण कार्यक्रम का विकल्प नहीं चुनें चाहे वह बिना लागत से ही प्राप्त हो रहा हो। संग्रहण और पुनर्चक्रण को सुविधाजनक बनाने के लिए हम अपने तर्क प्रस्तुत करते हैं कि क्योंकि फर्स्ट् सोलर द्वारा विनिर्मित प्रत्येक CdTe PV पैनल पर एक बेजोड़ बार कोडित पहचान संख्या होती है, अतः फर्स्ट् सोलर के लिए इसके उद्गम से अन्त तक/उद्गम से जीवनकाल की समाप्ति तक और पुनः उद्गम तक अनुवीक्षण और प्रत्येक मॉड्यूल के प्रलेखीकरण और पुनर्चक्रण की देख–रेख करना कठिन नहीं होना चाहिए और इसका अन्तिम उपाय पुनर्चक्रण है। ऐसी पहलें उन स्थितियों में आवश्यक हैं जहॉ किसी के द्वारा किए गए गलत कार्य (यहॉ तक कि अज्ञानता के कारण) से बहुतों को हानि पहुंचने की संभावना होती है। इस पर ध्यान दिया जाना चाहिए कि फर्स्ट् सोलर बड़े आकार के

उपयोगिता स्तर (छोटे आकार के नहीं) PV अनुप्रयोगो पर केन्द्रित हैं और पूर्व निधिबद्ध संग्रहण और पुनर्चक्रण कार्यक्रम इसे निम्नतम लागत जीवनकाल समाप्त विकल्प बना देता है और जीवन काल समाप्त मॉड्यूलों के संग्रहण और पुनर्चक्रण दर को अधिकतम करने के लिए एक आम नीति पर विचार–विमर्श की आवश्यकता है कि किस प्रकार जीवनकाल समाप्त PV मॉड्यूलों के पुनर्चक्रण को सर्वश्रेष्ठ रूप से (उदाहरणार्थ मॉग की अनुमति देकर और/अथवा अनिवार्य रूप से वापस लेने का कानून निर्माण कर) सुनिश्चित किया जा सके। नीतिगत विचार–विमर्श की आवश्यकता है क्योंकि अनिवार्य पुनर्चक्रण केवल कानून बनाकर ही संपादित किया जा सकता है।

कोई भी प्रश्न करना चाहेगा कि CdTe मॉड्यूल से संबंधित सभी अध्ययन योरोप अथवा यू.एस.ए. में किए गए। क्योंकि अपशिष्ट निपटान से संबंधित वातावरणीय स्थितियॉ एवं नीतियॉ भारतीय संदर्भ में बदलती रहती हैं, अतः प्रतिवेदित साहित्य से समान परिणाम प्रत्यक्ष रूप से नहीं निकाले जा सकते हैं। भारत में अभिभावी (prevailing) स्थितियो को सम्मिलित कर भारत पर केन्द्रित अध्ययन एक स्वागत योग्य विचार हो सकेगा। संभव है कि निकट भविष्य में भारत में पुनर्चक्रण किया जाएगा; ऐसी स्थिति में प्रत्येक को वर्तमान पुनर्चक्रण कार्यक्रम पर बारीकी से ध्यान देना चाहिए और उसके पश्चात् भारतीय पुनर्चक्रण संयंत्र के बारे में निष्कर्ष निकाले जाने चाहिए।

5. सन्दर्भ

1. के. जैनियो, सेमीकन्डक्टर्स ऐन्ड सेमीमेटल्स–कैडमियम टैल्यूराइड, सी.जी. स्कॉट और ए.सी. बीयर द्वारा संपादित, खंड 13, एकेडमिक, न्यू यार्क, 1978.

2. एच. हर्टमान, आर. मैक और बी. सेले, करेन्ट टॉपिक्स इन मैटीरियल साइन्स, ई. कैलडिस द्वारा संपादित, एमस्टर्डम, 1982.

3. कैजमर, एस. 2011. इवैल्युएटिंग दि रेड–एक्कॉस एप्रोच ऑन CdTe टॉक्सिसिटी फॉर CdTe फोटोवोल्टैइक। SETAC उत्तरी अमरीका, 32वीं वार्षिक बैठक, बोस्टन, एम.ए.।

4. वी.एम. थेनाकीज, रिन्यूएबल सस्टेनेबल एनर्जि रिव्यू 8, 303 (2004).

5. वी.एम. थेनाकीज, एच.सी. किम, ई. अल्सेमा, एन्वायरन. साइ. टेक्नोल., 42, 2168 (2008).

6. वी.एम. थेनाकीज एवं अन्य सहयोगी, प्रोग्रेस इन फोटोवौल्टैइक रिसर्च ऐन्ड ऐप्लिकेशन्स, 13, 713 (2005).

7. पी. सिन्हा, आर. बलास, एल. क्रुगर, 37 वॉ प्रकाश–वोल्टीय विशेषज्ञ सम्मेलन, सिएटल, डब्ल्यू.ए., 19–24 जून 2011.

8. एम. हेल्ड और आर. इग, प्रोगेस इन फोटोवोल्टैइक रिसर्च ऐन्ड ऐप्लिकेशन, 19, 614, (2011).

9. के.एल. चोपड़ा, पी.डी. पॉलसन और वी. दत्ता, प्रोग्रेस इन फोटोवोल्टैइक रिसर्च ऐन्ड ऐप्लिकेशन्स, 12, 69 (2004).

10. डी.एस. गिनली, आर. कोलिन्स और डी. केहेन, डाइरेक्ट सोलर एनर्जि कन्वर्शन विद फोटावोल्टैइक डिवाइसेजः फन्डामेन्टल्स ऑफ मैटीरियल्स फॉर एनर्जि ऐन्ड एन्वायरन्मेन्टल सस्टेनेबिलिटी, डी.एस. गिनली और डी. कहेन द्वारा संपादित, पृष्ठ 216–237, 2012, कैम्ब्रिज यूनिवर्सिटी प्रेस।

11. एम. ग्रीन, 21वें आई.ई.ई.ई. प्रकाश–वोल्टीय विशेषज्ञों के सम्मेलन की कार्यवाही, ओरलैंडो, यू.एस.ए., 1990.

12. वी.एम. तेनाकीज, एम.आर.एस. बुलेटिन, 37, 425, (2012).

13. सी.के. जैन एवं इमरान अली, ''एडशार्प्शन ऑफ कैडमियम ऑन बेड सेडिमेन्ट्स'', तकनीकी रिपोर्ट TR(BR)-10/97-98, राष्ट्रीय जल विज्ञान संस्थान, रुड़की, भारत।

14. आर. श्रीकान्त, ए. मधुसूदन राव, चौ. श्रवण कुमार, एवं अनीस खानुम, ''लीड, कैडमियम, निकल ऐन्ड जिंक कन्टामिनेशन ऑफ ग्राउण्ड वाटर एराउन्ड हुसैन सागर लेक, हैदराबाद, इंडिया'', बुल. एन्वाइरन. कन्टामि. टाक्सीकूल. (1993) 50: 138-143.

15. http://www.peopleforanimalsindia.org/articles/by/maneka-gandhi/256-water-and-soil-pollution.html.

16. पंडित एस. खिलाड़ी, सयंतम सरकार, एयरबोर्न इन्हेलेबल मेटल्स इन रेजीडेन्शियल एरियाज ऑफ दिल्ली, इंडिया डिस्ट्रीब्यूशन, सोर्स अपॉर्शनमेन्ट ऐन्ड हेल्थ रिस्क्स ; एटमास्फियरिक पलूशन रिसर्च 3 (2012) 46–54.

17. वी.एम तेनाकीज, एच.सी. किम, ई. अल्सेमा, एन्वायरन. साइ. टेक्नोल., 42, 2168 (2008).

18. वी.एम. तेनाकीज, एच.सी. किम, एनर्जि पालिसी, 35, 2549 (2007).

19. मरिस्का डे वाइल्ड स्कॉल्टन, 26वॉ योरोपीय प्रकाश–वोल्टीय सौर ऊर्जा सम्मेलन, हम्बर्ग, जर्मनी, 5–9 सितम्बर, 2011.

20. मरिस्का डे वाइल्ड स्कॉल्टन और मार्टिन स्कॉटलर, ECN और M+W Zander FE GmbH, थिन फिल्म इंडस्ट्री फोरम, बर्लिन, 24 अप्रैल, 2009.

21. मरिस्का डे वाइल्ड स्कॉल्टन, एनर्जि पे बैक ऐन्ड कार्बन फूट प्रिन्ट ऑफ PV टेक्नोलॉजीज, क्रिस्टलिन सिलिकन सोलर सेल्स ऐन्ड मॉड्यूल्सः मैटीरियल्स ऐन्ड प्रोसेसेज पर 20वीं कार्यशाला, ब्रेकेन्रिज, 3 अगस्त, 2010.

22. सिन्हा पी., बलास आर.,. कुगर एल, एवं वेड ए., फेट ऐन्ड ट्रांसपोर्ट इवैल्युएशन ऑफ पोटेन्शियल लीचिंग रिस्क्स फ्रॉम कैडमियम टैल्यूराइड फोटोवोल्टैइक्स, एन्वाइरन्मेन्टल टॉक्सीकोलोजी ऐन्ड कैमिस्ट्री, खंड 31, संख्या 7, पृ. सं. 1670–1675, 2012.

23. आर.बी. गॉर्डन, एम. बरट्रम, टी.ई. ग्रेइडेल, नेशनल एकेडमिक साइंस की कार्यवाही, यू. एस.ए., 103, 1209 (2006).

24. कैंडलीज, सी., एम. विन्स्केल एवं आर ग्रॉस, इज इंडियम ऐन्ड टैल्यूरियम एवेलेबिटी ए रिअल कन्सर्न फॉर CdTe ऐन्ड CIGS टेक्नोलाजीज ? *26वें* EU PV SEC की कार्यवाही में, हम्बर्ग, हर्मनी, 2011, चित्र 1.

25. हेल्ड एम., आर. इग, प्रोग्रेस इन फोटोवोल्टैइक रिसर्च ऐन्ड ऐप्लिकेशन्स, 19, 614 (2011).

26. हेल्ड एम., लाइफ साइकिल अससेमेन्ट ऑफ CdTe माड्यूल रिसाक्लिंग, 24वॉ EU PVSEC सम्मेलन, हम्बर्ग, जर्मनी, 2009.

27. स्मिगिएलेस्की, के., फन्डामेन्टल्स ऐन्ड EHS चैलेन्जिज ऑफ PV मैन्यूफैक्चरिंग। SESHA/SIA संयुक्त परिसंवाद, स्काट्सडेल, AZ, 16-20 मई , 2011.

28. NGI : एन्वायरमेन्टल रिस्क्स रिगार्डिंग दि यूज ऐन्ड फाइनल डिस्पोजल ऑफ CdTe PV मॉड्यूल्स ऐन्ड लीचिंग फ्राम CdTe PV मैटीरियल्स – रिजल्ट्स फ्राम बैच, कॉलम ऐन्ड एवेलेबिलिटी टेस्ट्स पर समीक्षा, 2010.

29. डी. टर्नी और वी. थेनाकीज, एन्वायरनमेन्टल इम्पैक्ट्स फ्रॉम दि इन्स्टालेशन ऐन्ड ऑपरेशन ऑफ लार्ज–स्केल सोलर पावर प्लान्ट्स, पुनर्नव्य एवं संधारणीय ऊर्जा समीक्षाएँ 15, 3261–3270, 2011.

30. बेकमैन, जे., और मेन्नेंगा, ए., कैलक्युलेशन ऑफ इमिशन्स व्हेन दियर इज ए फायर इन ए फोटोवोल्टैइक सिस्टम मेड ऑफ कैडमियम टैल्यूराइड मॉड्यूल्स, बावेरियन एन्वाइरनमेन्टल एजेन्सी, ऑग्सबर्ग, जर्मनी 2011.

31. मैक्रो रॉगेई और वैसिलिस थेनाकीज, कैडमियम फ्लोज ऐन्ड इमिशन्स फ्रॉम CdTe PV: फ्यूचर एक्सपेक्टेशन्स, ऊर्जा नीति, 38 (9) 5223–5228, 2010.

32. साइन्टिफिक कमेन्ट ऑफ फ्राउनहोफर टु लाइफ साइकिल असेसमेन्ट ऑफ CdTe, फोटोवोल्टैइक फ्राउनहोफर इन्स्टिट्यूट, 2012 (http://www.csp.fraunhofer.de/presse-und-veranstaltungen/details/id/47/ पर उपलब्ध है।)