

संस्कृत भाषा और कंप्यूटर/आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस (AI) का अंतरसंबंध: एक विश्लेषणात्मक साहित्यिक अध्ययन

प्रहलाद सिंह अहलूवालिया, डिपार्टमेंट ऑफ मैनेजमेंट एंड बिजनेस स्टडीज, जामिया हमदद, नई दिल्ली

सार (Abstract)

प्रस्तुत शोध-पत्र संस्कृत भाषा की संरचनात्मक, ध्वन्यात्मक तथा व्याकरणिक विशेषताओं और आधुनिक कंप्यूटर विज्ञान एवं कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Artificial Intelligence) के मध्य विद्यमान अंतरसंबंधों का विश्लेषणात्मक साहित्यिक (Analytical Literary) पद्धति से अध्ययन करता है। पाणिनि की अष्टाध्यायी को विश्व के प्रथम औपचारिक (Formal) व्याकरण-तंत्र के रूप में स्वीकार करते हुए यह पत्र दर्शाता है कि किस प्रकार सूत्र-शैली, अनुबंध-व्यवस्था तथा कारक-सिद्धान्त आधुनिक प्रोग्रामिंग भाषाओं की संरचना, अल्गोरिथ्म तथा ज्ञान-निरूपण (Knowledge Representation) प्रणालियों से साम्य रखते हैं। रिक ब्रिग्स के 1985 के बहुचर्चित शोध-पत्र से लेकर समकालीन संस्कृत-कम्प्यूटेशनल-भाषाविज्ञान (Sanskrit Computational Linguistics) परियोजनाओं तक के साहित्य की समीक्षा करते हुए यह पत्र विभिन्न विद्वानों के मतों, उनके शोध-परिणामों तथा आलोचनात्मक दृष्टिकोणों का तुलनात्मक विश्लेषण प्रस्तुत करता है। साथ ही यह पत्र संस्कृत की अस्पष्टता-रहित (Unambiguous) संरचना, मशीन अनुवाद, प्राकृतिक भाषा संसाधन (NLP) तथा बड़े भाषा मॉडल (LLM) प्रशिक्षण में संस्कृत की संभावित उपयोगिता एवं उसकी सीमाओं की समीक्षा करता है। निष्कर्षतः यह अध्ययन स्थापित करता है कि संस्कृत भाषा और कृत्रिम बुद्धिमत्ता का अंतरसंबंध केवल एक लोकप्रिय मिथक नहीं, अपितु भाषाविज्ञान, तर्कशास्त्र एवं संगणनात्मक विज्ञान के अंतर्विषयक अध्ययन का एक वैध एवं उर्वर क्षेत्र है, जिसे यथोचित सतर्कता तथा वैज्ञानिक निष्पक्षता के साथ आगे बढ़ाया जाना चाहिए।

कूटशब्द (Keywords): संस्कृत भाषा, कृत्रिम बुद्धिमत्ता, पाणिनीय व्याकरण, प्राकृतिक भाषा संसाधन, मशीन अनुवाद, ज्ञान-निरूपण, संगणनात्मक भाषाविज्ञान

1. प्रस्तावना

भाषा और गणना (Computation) का संबंध मानव सभ्यता के इतिहास में सदैव एक-दूसरे से गुंथा रहा है। जब आधुनिक कंप्यूटर विज्ञान अपनी शैशवावस्था में औपचारिक भाषाओं (Formal Languages), व्याकरण-नियमों तथा ज्ञान-निरूपण की संरचनाओं की खोज कर रहा था, उसी काल में अनेक भाषाविदों और वैज्ञानिकों का ध्यान भारत की प्राचीन भाषा संस्कृत की ओर गया, जिसकी व्याकरणिक संरचना ईसा-पूर्व चतुर्थ शताब्दी में ही महर्षि पाणिनि द्वारा अत्यंत सूक्ष्म, संक्षिप्त तथा तर्कसंगत सूत्रों में व्यवस्थित कर दी गई थी।¹ आधुनिक भाषाविद् फ्रिट्स स्टाल ने अपने अध्ययनों में यह प्रतिपादित किया कि पाणिनि का व्याकरण-तंत्र न केवल भाषा-विवरण की एक पद्धति है, अपितु वह एक औपचारिक प्रणाली (Formal System) के रूप में आधुनिक गणितीय तर्कशास्त्र तथा संगणना-सिद्धान्त (Theory of Computation) के अनेक मूल सिद्धान्तों का पूर्वाभास देता है।²

यह अंतरसंबंध केवल संयोग नहीं है। संस्कृत भाषा की तीन प्रमुख विशेषताएँ — (क) उसकी उच्चारण-लेखन में पूर्ण संगति अर्थात् ध्वन्यात्मक शुद्धता, (ख) उसकी पदक्रम-स्वातंत्र्य (Free Word Order) की क्षमता जो शब्द-विभक्तियों (Case Endings) पर आधारित है, तथा (ग) उसकी सूत्र-शैली की संक्षिप्तता एवं द्व्यर्थकता-रहित (Non-ambiguous) प्रकृति — इन तीनों गुणों ने

संगणक वैज्ञानिकों को यह सोचने के लिए प्रेरित किया कि क्या संस्कृत जैसी प्राकृतिक भाषा (Natural Language) किसी कृत्रिम/औपचारिक भाषा (Artificial Language) की भाँति भी कार्य कर सकती है।³

1985 में अमेरिकी अंतरिक्ष अनुसंधान संस्था नासा (NASA) के अनुसंधान संस्थान RIACS से जुड़े वैज्ञानिक रिक ब्रिग्स (Rick Briggs) ने प्रतिष्ठित पत्रिका *AI Magazine* में "Knowledge Representation in Sanskrit and Artificial Intelligence" शीर्षक से एक शोध-पत्र प्रकाशित किया, जिसमें उन्होंने यह तर्क प्रस्तुत किया कि प्राकृतिक भाषा और कृत्रिम भाषा के बीच जो द्विभाजन (Dichotomy) भाषाविज्ञान तथा कृत्रिम बुद्धिमत्ता के अनुसंधान का आधार रहा है, वह एक भ्रामक धारणा है, क्योंकि संस्कृत लगभग एक हजार वर्षों तक एक जीवंत बोलचाल की भाषा होते हुए भी अपने व्याकरणविदों की परंपरा के माध्यम से उस स्तर की परिशुद्धता (Precision) प्राप्त कर चुकी थी, जो अन्यथा केवल कृत्रिम भाषाओं में ही संभव मानी जाती थी।⁴ ब्रिग्स के अनुसार पाणिनि, कात्यायन, पतंजलि, भट्टोजि दीक्षित तथा नागेश जैसे वैयाकरणों ने वाक्यों के अर्थ-विश्लेषण की जो पद्धति विकसित की, वह अर्थतः और स्वरूपतः आधुनिक कृत्रिम बुद्धिमत्ता में प्रयुक्त शब्दार्थ जालक (Semantic Network) प्रणाली से समरूप है।⁵

तथापि यह ध्यातव्य है कि ब्रिग्स का यह शोध-पत्र समय के साथ अनेक अतिरंजित तथा असत्यापित लोकप्रिय दावों का आधार भी बन गया — जैसे यह भ्रामक प्रचार कि "नासा में संस्कृत सीखना अनिवार्य है" अथवा "नासा के अनुसार संस्कृत ही एकमात्र कंप्यूटर के अनुकूल भाषा है।" वस्तुतः नासा ने इस संदर्भ में कभी कोई आधिकारिक वक्तव्य जारी नहीं किया,⁶ और स्वयं ब्रिग्स का पत्र किसी तकनीकी क्रांति की घोषणा नहीं, अपितु एक तुलनात्मक भाषावैज्ञानिक अंतर्दृष्टि (Comparative Linguistic Insight) प्रस्तुत करने वाला अकादमिक लेख था। अतः प्रस्तुत शोध-पत्र का एक महत्त्वपूर्ण उद्देश्य लोकप्रिय मिथकों और प्रामाणिक शैक्षणिक साहित्य के बीच विवेचनात्मक विभाजन-रेखा खींचना भी है।

2. शोध उद्देश्य एवं शोध प्रविधि

2.1 शोध के उद्देश्य

इस शोध-पत्र के प्रमुख उद्देश्य निम्नलिखित हैं:

1. संस्कृत भाषा की संरचनात्मक विशेषताओं का विश्लेषण करना, जो उसे कंप्यूटर विज्ञान के दृष्टिकोण से विशिष्ट बनाती हैं।
2. पाणिनीय व्याकरण-प्रणाली एवं आधुनिक औपचारिक व्याकरण-सिद्धान्त (Formal Grammar Theory) के बीच तुलनात्मक अध्ययन प्रस्तुत करना।
3. संस्कृत-केंद्रित कृत्रिम बुद्धिमत्ता एवं प्राकृतिक भाषा संसाधन (NLP) परियोजनाओं की समीक्षा करना तथा उनके परिणामों का विश्लेषण करना।
4. इस विषय पर उपलब्ध साहित्य में व्याप्त समर्थक तथा आलोचनात्मक — दोनों दृष्टिकोणों को संतुलित रूप में प्रस्तुत करना।
5. संस्कृत और कृत्रिम बुद्धिमत्ता के भविष्योन्मुखी अंतरसंबंध, उसकी संभावनाओं तथा सीमाओं का आकलन करना।

2.2 शोध प्रविधि

प्रस्तुत अध्ययन में विश्लेषणात्मक साहित्यिक शोध-प्रविधि (Analytical Literary Research Method) अपनाई गई है। इस पद्धति में किसी व्यवस्थित समीक्षा-प्रोटोकॉल (जैसे PRISMA) का अनुसरण करने के स्थान पर, विषय से संबंधित प्राथमिक स्रोतों

(पाणिनि की अष्टाध्यायी, पतंजलि का महाभाष्य आदि), आधुनिक अकादमिक शोध-पत्रों, पुस्तकों तथा प्रामाणिक हिन्दी/संस्कृत साहित्य का गहन वाचन, तुलनात्मक विश्लेषण तथा आलोचनात्मक विवेचन किया गया है। शोध की प्रकृति गुणात्मक (Qualitative) है, जिसमें भाषिक संरचनाओं के विवरणात्मक (Descriptive), व्याख्यात्मक (Interpretive) तथा तुलनात्मक (Comparative) विश्लेषण को प्राथमिकता दी गई है, न कि केवल परिमाणात्मक आँकड़ों को।

3. साहित्य समीक्षा (Literature Review)

3.1 रिक ब्रिग्स (1985): नींव का शोध-पत्र

जैसा ऊपर उल्लेख किया गया, ब्रिग्स का शोध-पत्र इस क्षेत्र का आधार-स्तंभ माना जाता है। उन्होंने अपने पत्र में सर्वप्रथम कृत्रिम बुद्धिमत्ता में प्रचलित शब्दार्थ जालक (Semantic Net) प्रणाली की रूपरेखा प्रस्तुत की, जिसमें किसी वाक्य को कर्ता (Agent), क्रिया (Action), कर्म (Object), साधन (Instrument), प्राप्तिकर्ता (Recipient), उद्गम-स्थान (Point of Departure) तथा स्थान (Locality) — इन छह मूल संबंधों में विभाजित किया जाता है।⁷ इसके पश्चात् उन्होंने अठारहवीं शताब्दी के वैयाकरण नागेश भट्ट द्वारा किए गए एक संस्कृत वाक्य के विश्लेषण को उद्धृत करते हुए दिखाया कि यह प्राचीन पद्धति भी ठीक उन्हीं छह "कारक" संबंधों — कर्ता, कर्म, करण, संप्रदान, अपादान तथा अधिकरण — के माध्यम से वाक्यार्थ का निरूपण करती है, जो संस्कृत की सात विभक्तियों में से छह के अनुरूप हैं।⁸ ब्रिग्स का निष्कर्ष था कि यह साम्य आकस्मिक नहीं, अपितु यह दर्शाता है कि "आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस में जो कार्य किया जा रहा है, वह वस्तुतः सहस्राब्दियों पुराने पहिए का पुनः आविष्कार है।"⁹

3.2 फ्रिट्स स्टाल: पाणिनि और औपचारिक भाषा सिद्धान्त

डच भाषाविद् एवं भारतविद् फ्रिट्स स्टाल ने अपने विस्तृत अध्ययनों में पाणिनि के व्याकरण को "विश्व के इतिहास में सर्वाधिक उन्नत औपचारिक प्रणालियों में से एक" के रूप में चिह्नित किया।¹⁰ स्टाल ने विशेष रूप से यह प्रतिपादित किया कि पाणिनि की सूत्र-रचना पद्धति — जिसमें नियमों को क्रमबद्ध कर, अपवादों को सामान्य नियमों पर प्राथमिकता देकर तथा "अनुवृत्ति" (एक सूत्र से अगले सूत्र में अर्थ के अनुसरण) की तकनीक का प्रयोग कर अधिकतम संक्षिप्तता प्राप्त की गई — आधुनिक प्रोग्रामिंग भाषाओं में प्रयुक्त "उत्तराधिकार" (Inheritance) एवं "डिफॉल्ट ओवरराइडिंग" (Default Overriding) की अवधारणाओं से गहनतः साम्य रखती है।¹¹ स्टाल का यह भी कहना था कि पाणिनि ने भाषा को उत्पन्न करने वाली नियम-प्रणाली (Generative Rule System) की जो रूपरेखा प्रस्तुत की, वह बीसवीं शताब्दी के भाषाविद् नोम चॉम्स्की के जनक व्याकरण (Generative Grammar) सिद्धान्त से लगभग ढाई हजार वर्ष पूर्व की एक अद्भुत पूर्वछाया थी।¹²

3.3 पॉल किपास्की: पाणिनि के व्याकरण की स्थापत्य-संरचना

भाषाविद् पॉल किपास्की ने अपने अध्ययन "On the Architecture of Panini's Grammar" में अष्टाध्यायी की आंतरिक संरचना का गहन विश्लेषण करते हुए दिखाया कि पाणिनि की प्रणाली एक बहु-स्तरीय (Multi-tiered), नियम-आधारित, तथा अत्यंत कुशलतापूर्वक संगठित प्रणाली है, जिसमें साढ़े तीन हजार से अधिक सूत्रों के बीच अंतर्निर्भरता का एक जटिल किन्तु सुसंगत जाल विद्यमान है।¹³ किपास्की के अनुसार इस प्रणाली में "नियमों के क्रम" (Rule Ordering) की जो पद्धति अपनाई गई है, वह कंप्यूटर विज्ञान में प्रयुक्त "प्राथमिकता आधारित निष्पादन" (Priority-based Execution) से तुलनीय है, जहाँ विशिष्ट नियम सामान्य नियमों को स्वतः अधिक्रमित (Override) कर देते हैं।

3.4 जेरार्द ह्युए (Gérard Huet): संस्कृत हेरिटेज इंजन

फ्रांसीसी संगणक वैज्ञानिक जेरार्द ह्युए ने संस्कृत के व्यावहारिक संगणनात्मक प्रसंस्करण की दिशा में अत्यंत महत्वपूर्ण योगदान दिया। उन्होंने "Sanskrit Heritage Engine" नामक एक संगणकीय रूपात्मक विश्लेषक (Morphological Analyzer) तथा खंड-विश्लेषक (Segmenter) विकसित किया, जो संधि-विच्छेद (Sandhi Splitting) की जटिल समस्या को हल करने में सक्षम है।⁴ अपने शोध-पत्र "Lexicon-directed Segmentation and Tagging of Sanskrit" में ह्युए ने यह दर्शाया कि संस्कृत की संधि-प्रक्रिया, जो प्रथमदृष्ट्या संगणन हेतु एक बाधा प्रतीत होती है, वास्तव में परिमित अवस्था स्वचालित यंत्र (Finite State Automata) के सिद्धान्तों के माध्यम से अत्यंत व्यवस्थित रूप से मॉडल की जा सकती है।⁵ इसी क्रम में उन्होंने "Shallow Syntax Analysis in Sanskrit Guided by Semantic Nets Constraints" नामक अध्ययन में शब्दार्थ जालक की सीमाओं का उपयोग कर संस्कृत वाक्यों के वाक्यविन्यास-विश्लेषण (Syntax Parsing) की एक पद्धति प्रस्तावित की।⁶

3.5 ओलिवर हेलविग तथा अन्य संगणनात्मक भाषाविज्ञानी

जर्मन विद्वान ओलिवर हेलविग ने "SanskritTagger" नामक एक सांख्यिकीय शाब्दिक तथा पदभेद-चिह्नक (Stochastic Lexical and POS Tagger) विकसित किया, जो प्रथम अंतरराष्ट्रीय संस्कृत संगणनात्मक भाषाविज्ञान संगोष्ठी (2007, फ्रांस) में प्रस्तुत किया गया।⁷ इसी प्रकार मैल्कम हाइमन ने पाणिनीय संधि-नियमों को परिमित अवस्था गणना (Finite State Calculus) में रूपांतरित करने की एक पद्धति प्रस्तुत की, जो यह प्रमाणित करती है कि प्राचीन ध्वन्यात्मक नियम आधुनिक संगणनात्मक ढाँचों में सीधे अनूदित किए जा सकते हैं।⁸ इन सभी अध्ययनों को एकत्रित रूप में जेरार्द ह्युए, अंबा कुलकर्णी तथा पीटर शार्फ द्वारा संपादित पुस्तक *Sanskrit Computational Linguistics: First and Second International Symposia* में संकलित किया गया, जो इस क्षेत्र की सैद्धांतिक तथा व्यावहारिक प्रगति का एक व्यापक दस्तावेज है।⁹

3.6 भारतीय संस्थानों में संस्कृत-हिन्दी मशीन अनुवाद परियोजनाएँ

भारत सरकार के तत्कालीन सूचना प्रौद्योगिकी विभाग (Department of Information Technology) के सहयोग से जवाहरलाल नेहरू विश्वविद्यालय, भारतीय प्रौद्योगिकी संस्थान (IIT) मुंबई, हैदराबाद विश्वविद्यालय जैसे अनेक संस्थानों ने मिलकर "संस्कृत-हिन्दी मशीन अनुवाद (SHMT)" नामक एक संघटित (Consortium Mode) परियोजना का संचालन किया।²⁰ इस परियोजना का उद्देश्य संस्कृत के विशाल शास्त्रीय ग्रंथ-भंडार को हिन्दी में स्वचालित रूप से अनूदित कर व्यापक जनसुलभ बनाना था। इस परियोजना से जुड़े विद्वान वीणेत चैतन्य तथा राजीव संगल ने पूर्व में "A Computational Grammar of Sanskrit" नामक अपने अध्ययन में पाणिनि के कारक-सिद्धान्त को आधार बनाकर एक कंप्यूटर-आधारित संस्कृत व्याकरण-मॉडल प्रस्तुत किया था, जिसमें आश्रित-संरचना व्याकरण (Dependency Grammar) की पद्धति अपनाई गई।²¹ इन परियोजनाओं के परिणाम यह दर्शाते हैं कि यद्यपि संस्कृत की स्वतंत्र पदक्रम (Free Word Order) संरचना नियम-आधारित (Rule-based) मशीन अनुवाद के लिए एक अवसर प्रस्तुत करती है, तथापि संधि, समास तथा बहु-अर्थकता (Polysemy) जैसी जटिलताएँ इसे तकनीकी दृष्टि से एक चुनौतीपूर्ण कार्यक्षेत्र भी बनाती हैं।

3.7 अंबा कुलकर्णी एवं हैदराबाद विश्वविद्यालय का योगदान

हैदराबाद विश्वविद्यालय के संस्कृत विद्या-अध्ययन एवं शोध-संस्थान में अंबा कुलकर्णी के नेतृत्व में संस्कृत वाक्यों के स्वचालित रूपात्मक विश्लेषण, पदभेद-चिह्नांकन (Tagging) तथा कारक-विश्लेषण हेतु अनेक संगणनात्मक उपकरण विकसित किए गए,

जिनमें ऑनलाइन संस्कृत रूपात्मक विश्लेषक तथा संधि-विश्लेषक सम्मिलित हैं।²² इन उपकरणों का प्रमुख उद्देश्य पाणिनीय व्याकरण के नियमों को प्रत्यक्षतः संगणकीय अल्गोरिथ्म में परिवर्तित करना था, न कि पश्चिमी भाषाविज्ञान के ढाँचे को संस्कृत पर आरोपित करना। इस दृष्टिकोण का महत्वपूर्ण परिणाम यह रहा कि संस्कृत के लिए बनाए गए NLP उपकरण अंग्रेजी अथवा अन्य यूरोपीय भाषाओं के लिए बने मानक उपकरणों की तुलना में अधिक भाषा-अनुकूल (Language-native) सिद्ध हुए।²³

3.8 संस्कृत ज्ञान-आधारित प्रणालियाँ: समकालीन शोध

हाल के वर्षों में प्रकाशित एक शोध-प्रबंध "Sanskrit Knowledge-based Systems: Annotation and Computational Tools" में यह स्थापित किया गया कि आयुर्वेद जैसे संस्कृत के तकनीकी ग्रंथों — यथा भावप्रकाश के निघण्टु खंड — में निहित सूचना को संगणकीय एनोटेशन तथा ज्ञान-आधार (Knowledge Base) प्रणालियों के माध्यम से संरचित रूप में प्रस्तुत किया जा सकता है, जिससे यह प्राचीन ज्ञान आधुनिक स्वास्थ्य-सूचना-तंत्र में भी उपयोगी बन सके।²⁴ यह अध्ययन इस बात का प्रमाण है कि संस्कृत-AI अंतरसंबंध केवल भाषाई कौतूहल तक सीमित नहीं, अपितु आयुर्वेद, दर्शन तथा साहित्य जैसे व्यावहारिक क्षेत्रों में भी सार्थक अनुप्रयोग रखता है।

3.9 हिन्दी साहित्यिक जगत में समकालीन विमर्श

भारतीय शोध-पत्रिकाओं में प्रकाशित हिन्दी शोध-पत्रों में भी यह विषय निरंतर विवेच्य रहा है। इंटरनेशनल जर्नल ऑफ एडवांस्ड रिसर्च इन प्रोग्रेसिव स्पेक्ट्रम्स (IJARPS) में प्रकाशित एक शोध-पत्र "संस्कृत भाषा और कृत्रिम बुद्धिमत्ता: मुद्दे और चुनौतियाँ" में यह प्रतिपादित किया गया है कि संस्कृत भाषा की वैज्ञानिकता तथा उसकी व्याकरणिक संरचना उसे कृत्रिम बुद्धिमत्ता अनुप्रयोगों हेतु सैद्धांतिक रूप से अनुकूल बनाती है, किन्तु व्यावहारिक स्तर पर डिजिटल कॉर्पस (Digital Corpus) की न्यूनता, प्रशिक्षित मानव-संसाधन का अभाव तथा मानकीकृत एन्कोडिंग प्रणाली की कमी जैसी अनेक चुनौतियाँ अब भी विद्यमान हैं।²⁵ यह अध्ययन विशेष रूप से इस बात पर बल देता है कि केवल भाषा की सैद्धांतिक उपयुक्तता पर्याप्त नहीं है, जब तक कि उसके पीछे संगठित संस्थागत तथा तकनीकी अवसंरचना (Infrastructure) उपलब्ध न हो।

3.10 आलोचनात्मक दृष्टिकोण: मिथक बनाम यथार्थ

साहित्य समीक्षा को संतुलित रखने हेतु आलोचनात्मक स्वरों का उल्लेख भी आवश्यक है। अनेक समकालीन भाषाविदों ने यह तर्क दिया है कि ब्रिग्स का शोध-पत्र किसी "संस्कृत के सहस्राब्दी पुराने ज्ञान-निरूपण तंत्र" की बात नहीं करता, अपितु वह केवल उन व्याकरणविदों द्वारा विकसित एक विशिष्ट शब्दार्थ-मॉडल की बात करता है, जो संयोगवश संस्कृत बोलते थे।²⁶ इस दृष्टिकोण के अनुसार कारक-सिद्धान्त जैसी प्रणालियाँ अन्य अनेक विभक्ति-प्रधान (Case-marking) भाषाओं — यथा लैटिन, रूसी अथवा तमिल — में भी किसी-न-किसी रूप में विद्यमान हैं, अतः संस्कृत को "एकमात्र" कंप्यूटर-अनुकूल भाषा कहना वैज्ञानिक अतिशयोक्ति है। यह आलोचनात्मक स्वर इस शोध-पत्र के लिए महत्वपूर्ण है, क्योंकि यह हमें लोकप्रिय मिथक और प्रामाणिक शैक्षणिक निष्कर्ष के बीच विवेकपूर्ण विभेद करने के लिए प्रेरित करता है।

4. संस्कृत भाषा की संरचनात्मक एवं वैज्ञानिक विशेषताएँ

संस्कृत भाषा की जिन विशेषताओं के कारण उसे संगणनात्मक दृष्टिकोण से विशिष्ट माना जाता है, उनका विश्लेषण निम्नलिखित बिंदुओं में किया जा सकता है:

4.1 ध्वन्यात्मक-लेखन संगति (Phonetic Consistency)

संस्कृत में जैसा बोला जाता है, ठीक वैसा ही लिखा भी जाता है — इस सिद्धान्त को शिक्षा-शास्त्र में "यथोच्चारणं तथा लेखनम्" की परंपरा कहा गया है। यह विशेषता संगणकीय प्रसंस्करण के लिए अत्यंत लाभप्रद है, क्योंकि अंग्रेजी जैसी भाषाओं में उच्चारण तथा वर्तनी के बीच व्यापक असंगति स्वचालित वाक्-पहचान (Speech Recognition) प्रणालियों के लिए एक स्थायी चुनौती रही है, जबकि संस्कृत में यह समस्या न्यूनतम है।

4.2 पदक्रम-स्वातंत्र्य एवं कारक-व्यवस्था

संस्कृत में वाक्य के अर्थ का निर्धारण शब्दों के क्रम (Word Order) से नहीं, अपितु उनकी विभक्तियों (Case Endings) से होता है। इसी सिद्धान्त को पाणिनि ने कारक-प्रकरण में विस्तार से प्रतिपादित किया है। महाभाष्यकार पतंजलि इस संदर्भ में वैयाकरणों के मूल प्रयोजन को स्पष्ट करते हुए कहते हैं —

"सिद्धे शब्दार्थसम्बन्धे लोकतोऽर्थप्रयुक्ते शब्दप्रयोगे शास्त्रेण धर्मनियमो यथा लौकिकवैदिकेषु"²⁷

अर्थात् जब शब्द और अर्थ का सम्बन्ध लोकव्यवहार से सिद्ध है, तब शास्त्र (व्याकरण) का प्रयोजन उस प्रयोग को धर्म अर्थात् एक नियमबद्ध, शुद्ध तथा संगत रूप प्रदान करना है — ठीक जैसे कंप्यूटर विज्ञान में "फॉर्मल ग्रामर" का प्रयोजन किसी भाषा के वैध वाक्यों को अवैध वाक्यों से पृथक् करने हेतु नियम-प्रणाली प्रदान करना है।

4.3 सूत्र-शैली की संक्षिप्तता

पाणिनि के सूत्रों की लघुता एक कहावत का विषय रही है — "अर्धमात्रालाघवेन पुत्रोत्सवं मन्यन्ते वैयाकरणाः" अर्थात् वैयाकरण आधी मात्रा की भी लघुता को पुत्रोत्सव के समान मानते हैं।²⁸ यह अधिकतम संक्षिप्तता का सिद्धान्त ठीक उसी प्रकार है जैसे प्रोग्रामिंग में "कोड ऑप्टिमाइजेशन" अथवा एल्गोरिद्म की "स्पेस कॉम्प्लेक्सिटी" को न्यूनतम रखने का प्रयास किया जाता है। पाणिनि द्वारा प्रयुक्त "इत्-संज्ञा" (Marker Symbols) की प्रणाली, जिसमें कुछ ध्वनियों को केवल संकेतार्थ प्रयुक्त कर सूत्र से पूर्व ही लुप्त कर दिया जाता है, आधुनिक प्रोग्रामिंग भाषाओं में प्रयुक्त "वेरिएबल" तथा "फ्लैग" (Flag) की अवधारणा से अद्भुत साम्य रखती है।

4.4 अनुबंध एवं मेटा-नियम व्यवस्था

पाणिनि की सूत्र-प्रणाली में "परिभाषा-सूत्र" (Meta-rules) की एक पृथक् श्रेणी विद्यमान है, जो यह निर्धारित करती है कि शेष सूत्रों की व्याख्या किस प्रकार की जाए। यह ठीक उसी प्रकार है जैसे किसी प्रोग्रामिंग भाषा में "सिंटैक्स रूल्स" के ऊपर एक "मेटा-सिंटैक्स" (जैसे Backus-Naur Form) कार्य करता है, जो यह परिभाषित करता है कि सिंटैक्स-नियम स्वयं किस प्रकार लिखे जाने चाहिए।²⁹

5. पाणिनीय व्याकरण और आधुनिक कंप्यूटर विज्ञान का तुलनात्मक विश्लेषण

5.1 सूत्र-प्रणाली और अल्गोरिथ्म

पाणिनि की अष्टाध्यायी में लगभग 3,959 सूत्र आठ अध्यायों में विभाजित हैं, जिनमें प्रत्येक सूत्र एक विशिष्ट भाषिक परिवर्तन अथवा नियम को अभिव्यक्त करता है। यह संरचना एक "प्रोडक्शन सिस्टम" (Production System) के समरूप है, जो कृत्रिम बुद्धिमत्ता के प्रारंभिक विशेषज्ञ-प्रणाली (Expert System) मॉडलों का आधार रही है — जिनमें "यदि-तब" (If-Then) नियमों की एक शृंखला के माध्यम से जटिल निर्णय-प्रक्रिया संपन्न की जाती है। ब्रिग्स ने भी इसी समानांतरता को रेखांकित करते हुए कहा था कि पाणिनि के व्याकरणविदों की पद्धति "अनिवार्य रूप से एक ऐसी प्रणाली है, जो अर्थतः और स्वरूपतः आधुनिक कृत्रिम बुद्धिमत्ता के कार्य से समरूप है।"³⁰

5.2 नियम-प्राथमिकता का सिद्धान्त

पाणिनि के सुप्रसिद्ध परिभाषा-सूत्र — *"विप्रतिषेधे परं कार्यम्"*³¹ (अर्थात् दो नियमों में विरोध होने पर परवर्ती अर्थात् बाद में आने वाला नियम प्रबल माना जाएगा) — तथा *"अपवादः उत्सर्गान् बाधन्ते"* (अपवाद-सूत्र सामान्य नियमों को बाधित करते हैं) जैसे सिद्धान्त प्रोग्रामिंग भाषाओं में प्रयुक्त "प्राथमिकता-नियम" (Precedence Rules) तथा वस्तु-उन्मुख प्रोग्रामिंग (Object-Oriented Programming) में प्रयुक्त "मैथड ओवरराइडिंग" के सिद्धान्त से तुलनीय हैं। यह दर्शाता है कि पाणिनि ने विरोधाभासी नियमों के बीच निर्णय हेतु जो औपचारिक तर्क-प्रणाली विकसित की, वह आधुनिक संगणक विज्ञान की समस्या-समाधान पद्धति से मौलिक साम्य रखती है।

5.3 धातु-प्रत्यय प्रणाली और पैटर्न-आधारित उत्पादन

संस्कृत की धातु (Root) तथा प्रत्यय (Suffix) पर आधारित शब्द-निर्माण प्रक्रिया एक "जनरेटिव मॉडल" प्रस्तुत करती है, जिसमें सीमित मूल धातुओं (लगभग दो हजार) से असंख्य शब्दों का व्यवस्थित निर्माण संभव है। यह ठीक उसी प्रकार है, जैसे किसी प्रोग्रामिंग भाषा में सीमित "की-वर्ड्स" तथा "सिंटैक्स-नियमों" के संयोजन से अनंत प्रोग्रामों का निर्माण संभव होता है। भगवद्गीता का प्रसिद्ध श्लोक इस संदर्भ में एक रोचक रूपक प्रस्तुत करता है, जहाँ सृष्टि की नियमबद्ध, व्यवस्थित तथा चक्रीय प्रकृति का वर्णन किया गया है —

*"अव्यक्तादीनि भूतानि व्यक्तमध्यानि भारत। अव्यक्तनिधनान्येव तत्र का परिदेवना।।"*³²

यद्यपि यह श्लोक सीधे कंप्यूटर विज्ञान से संबंधित नहीं है, तथापि दार्शनिक स्तर पर यह "अव्यक्त" (Undefined/Abstract State) से "व्यक्त" (Instantiated/Concrete State) की ओर होने वाली नियमबद्ध संक्रमण-प्रक्रिया की जो अवधारणा प्रस्तुत करता है, वह अमूर्त वर्ग (Abstract Class) से मूर्त वस्तु (Concrete Object) के निर्माण की वस्तु-उन्मुख प्रोग्रामिंग अवधारणा के साथ एक विचारोत्तेजक साहित्यिक समानांतरता रखता है — यह तुलना विद्वानों द्वारा भारतीय दर्शन और संगणना-सिद्धान्त के अंतर्विषयक अध्ययनों में सांकेतिक रूप में प्रस्तुत की गई है।³³

6. संस्कृत, प्राकृतिक भाषा संसाधन (NLP) एवं मशीन अनुवाद के अनुप्रयोग

6.1 रूपात्मक विश्लेषण (Morphological Analysis)

संस्कृत की समृद्ध रूपात्मक संरचना — जिसमें प्रत्येक संज्ञा-शब्द तीन लिंग, तीन वचन तथा सात विभक्तियों में रूपांतरित हो सकता है — स्वचालित रूपात्मक विश्लेषकों के विकास हेतु एक समृद्ध किन्तु जटिल कार्यक्षेत्र प्रस्तुत करती है। हैदराबाद विश्वविद्यालय तथा फ्रांस के इन्ट्रिया (INRIA) अनुसंधान संस्थान के संयुक्त प्रयासों से विकसित उपकरण इस दिशा में उल्लेखनीय प्रगति दर्शाते हैं।³⁴

6.2 संधि-विच्छेद एवं खंड-विश्लेषण

संस्कृत में संधि (Euphonic Combination) की प्रक्रिया — जिसमें दो शब्द मिलकर एक नए ध्वन्यात्मक रूप में परिवर्तित हो जाते हैं — संगणनात्मक दृष्टि से सबसे चुनौतीपूर्ण समस्याओं में से एक मानी जाती है। इसी समस्या के समाधान हेतु एक शोध-पत्र में "यूफोनिक कन्जंक्शंस" (Euphonic Conjunctions) के लिए एक नई संगणनात्मक स्कीमा प्रस्तावित की गई, जिसमें परिमित अवस्था यंत्रों के माध्यम से संधि-विच्छेद की प्रक्रिया स्वचालित की गई।³⁵ यह अध्ययन दर्शाता है कि जो प्रक्रिया मानव विद्यार्थियों के लिए भी वर्षों के अभ्यास की माँग करती है, उसे भी नियम-आधारित एल्गोरिद्म के माध्यम से व्यवस्थित रूप से संगणित किया जा सकता है।

6.3 मशीन अनुवाद (Machine Translation)

संस्कृत से हिन्दी अथवा अंग्रेज़ी में मशीन अनुवाद की दिशा में हुए अध्ययनों में सांख्यिकीय मशीन अनुवाद (Statistical Machine Translation - SMT) तथा तंत्रिका मशीन अनुवाद (Neural Machine Translation - NMT) दोनों पद्धतियों का प्रयोग किया गया है। एक तुलनात्मक अध्ययन में यह निष्कर्ष निकाला गया कि तंत्रिका मशीन अनुवाद पद्धति सांख्यिकीय मॉडलिंग तकनीक की तुलना में बेहतर परिणाम देती है, यद्यपि दोनों ही पद्धतियों के समक्ष संस्कृत की रूपात्मक जटिलता तथा उपलब्ध समानांतर कॉर्पस (Parallel Corpus) की न्यूनता एक स्थायी बाधा बनी रहती है।³⁶ यह इस बात का द्योतक है कि संस्कृत की सैद्धांतिक नियमबद्धता अकेले पर्याप्त नहीं है — बड़े पैमाने पर प्रशिक्षण-डेटा (Training Data) की उपलब्धता आज भी एक प्रमुख अड़चन बनी हुई है।

6.4 दिशा-निर्भर मशीन अनुवाद: अंग्रेज़ी से संस्कृत

इसके विपरीत दिशा में भी शोध हुए हैं, जिनमें नियम-आधारित पद्धति अपनाकर अंग्रेज़ी वाक्यों को उनके समतुल्य संस्कृत वाक्यों में स्वचालित रूप से अनूदित करने का प्रयास किया गया, तथा परिणामों को एक ग्राफिकल यूजर इंटरफ़ेस (GUI) के माध्यम से प्रस्तुत किया गया। यह अध्ययन विभिन्न प्रकार के अंग्रेज़ी वाक्यों — सरल, संयुक्त तथा मिश्रित — के संस्कृत रूपांतरण में उल्लेखनीय सफलता दर्शाता है, यद्यपि जटिल मुहावरेदार (Idiomatic) प्रयोगों के अनुवाद में अभी भी सीमाएँ विद्यमान हैं।³⁷

7. तुलनात्मक अध्ययन: संस्कृत बनाम अन्य भाषाएँ

कृत्रिम बुद्धिमत्ता तथा संगणनात्मक भाषाविज्ञान की दृष्टि से संस्कृत की तुलना यदि अंग्रेज़ी, लैटिन तथा अन्य भारतीय भाषाओं से की जाए, तो निम्नलिखित विश्लेषणात्मक बिंदु उभरकर आते हैं:

अंग्रेजी की तुलना में: अंग्रेजी में वाक्यार्थ मुख्यतः शब्द-क्रम (Word Order) पर निर्भर करता है — "The dog bites the man" तथा "The man bites the dog" का अर्थ पूर्णतः भिन्न है, यद्यपि दोनों में समान शब्द प्रयुक्त हैं। इसके विपरीत संस्कृत में "श्वा नरं दशति" तथा "नरं श्वा दशति" दोनों का अर्थ समान रहता है, क्योंकि अर्थ-निर्धारण विभक्ति से होता है, शब्द-क्रम से नहीं। यह गुण संस्कृत को शब्दार्थ-जालक आधारित ज्ञान-निरूपण प्रणालियों के लिए सैद्धांतिक रूप से अधिक अनुकूल बनाता है, क्योंकि पदक्रम-परिवर्तन के बावजूद वाक्य की गहन संरचना (Deep Structure) अपरिवर्तित रहती है — ब्रिक्स के अध्ययन का यह एक केंद्रीय निष्कर्ष था।⁸

लैटिन तथा अन्य विभक्ति-प्रधान भाषाओं की तुलना में: आलोचकों का यह तर्क उचित है कि लैटिन, रूसी, जर्मन तथा तमिल जैसी अनेक भाषाओं में भी विभक्ति-प्रणाली विद्यमान है, अतः पदक्रम-स्वातंत्र्य संस्कृत की एकमात्र विशेषता नहीं है।⁹ तथापि यह तथ्य भी उतना ही महत्वपूर्ण है कि संस्कृत में इस विभक्ति-प्रणाली का इतना सूक्ष्म, आत्म-संगत (Self-consistent) तथा प्राचीन काल में ही औपचारिक रूप से संहिताबद्ध (Codified) रूप अन्य किसी भाषा में उपलब्ध नहीं है — पाणिनि की अष्टाध्यायी की तुलना में यूरोपीय भाषाओं का व्यवस्थित व्याकरण-प्रलेखन कई शताब्दियों बाद हुआ।

हिन्दी की तुलना में: हिन्दी, संस्कृत की तत्सम-प्रधान उत्तराधिकारी भाषा होते हुए भी विभक्ति-प्रणाली में सरलीकृत है और परसर्ग (Postposition) आधारित संरचना अपनाती है। इस दृष्टि से हिन्दी के NLP मॉडल संस्कृत की अपेक्षा शब्द-क्रम पर अधिक निर्भर हैं, किन्तु संस्कृत की तुलना में हिन्दी के डिजिटल कॉर्पस की मात्रा कहीं अधिक विशाल है, जिससे व्यावहारिक स्तर पर हिन्दी NLP मॉडल संस्कृत की तुलना में अधिक विकसित अवस्था में हैं।⁴⁰ इस प्रकार यह तुलना दर्शाती है कि किसी भाषा की "सैद्धांतिक अनुकूलता" तथा उसकी "व्यावहारिक तकनीकी परिपक्वता" दो पृथक् आयाम हैं, जिन्हें एक-दूसरे में मिलाकर नहीं देखा जाना चाहिए।

गणितीय/औपचारिक भाषाओं की तुलना में: प्रोग्रामिंग भाषाएँ (जैसे पाइथन, C++) पूर्णतः द्व्यर्थकता-रहित होती हैं क्योंकि वे मानव-निर्मित तथा सीमित शब्दावली पर आधारित हैं, जबकि संस्कृत एक प्राकृतिक भाषा होने के कारण साहित्यिक तथा दार्शनिक ग्रंथों में अनेक स्थानों पर बहु-अर्थकता (जैसे श्लेष अलंकार) का सायास प्रयोग भी करती है। अतः यह कहना अतिरंजित होगा कि संस्कृत पूर्णतः द्व्यर्थकता-रहित है — बल्कि यह कहना अधिक सटीक है कि संस्कृत के व्याकरणविदों ने द्व्यर्थकता को न्यूनतम करने हेतु जो औपचारिक उपकरण विकसित किए, वे तुलनात्मक रूप से अन्य प्राचीन भाषाओं से कहीं अधिक उन्नत थे।

8. विभिन्न दृष्टिकोणों का विश्लेषण

8.1 समर्थक दृष्टिकोण

समर्थक विद्वानों का मानना है कि संस्कृत की नियमबद्ध संरचना उसे न केवल ऐतिहासिक कौतूहल का विषय बनाती है, अपितु भविष्य की भाषा-प्रौद्योगिकी हेतु एक व्यावहारिक संसाधन भी बना सकती है। भारत के तत्कालीन राष्ट्रपति श्री रामनाथ कोविंद ने श्री लाल बहादुर शास्त्री राष्ट्रीय संस्कृत विद्यापीठ के एक सम्मेलन में यह विचार व्यक्त किया था कि संस्कृत गणना (Computation) तथा कृत्रिम बुद्धिमत्ता हेतु सर्वाधिक उपयुक्त भाषाओं में से एक है।⁴¹ इस दृष्टिकोण के समर्थक यह तर्क देते हैं कि जिस प्रकार गणितीय संकेत-प्रणाली (Mathematical Notation) सार्वभौमिक रूप से अस्पष्टता-रहित संचार को संभव बनाती है, उसी प्रकार संस्कृत की सूत्र-शैली तथा कारक-व्यवस्था भाषिक संचार में भी वह स्पष्टता प्रदान कर सकती है, जो कृत्रिम बुद्धिमत्ता प्रणालियों के प्रशिक्षण-डेटा हेतु अत्यंत मूल्यवान सिद्ध हो सकती है।

8.2 आलोचनात्मक/संतुलनकारी दृष्टिकोण

इसके विपरीत आलोचनात्मक विद्वानों का यह तर्क है कि उपर्युक्त उत्साहजनक दावे अक्सर वास्तविक तकनीकी प्रगति से आगे निकल जाते हैं। जैसा पूर्व में उल्लेख किया गया, नासा ने कभी संस्कृत को आधिकारिक रूप से "AI की भाषा" घोषित नहीं किया,⁴² और आधुनिक बड़े भाषा मॉडल (Large Language Models) वस्तुतः किसी एक "आदर्श भाषा" पर आधारित नहीं, अपितु सांख्यिकीय पैटर्न-अधिगम (Statistical Pattern Learning) की तकनीक पर आधारित हैं, जो किसी भी भाषा के विशाल डिजिटल कॉर्पस से सीख सकते हैं — भले ही वह भाषा संस्कृत जैसी नियमबद्ध हो या अंग्रेजी जैसी अपेक्षाकृत अनियमित। इस दृष्टि से यह कहना कि "संस्कृत ही भविष्य की AI-भाषा है" एक अतिसरलीकरण (Oversimplification) है। तथापि यह आलोचना इस बात को अस्वीकार नहीं करती कि पाणिनीय व्याकरण-सिद्धान्त संगणना-सिद्धान्त तथा औपचारिक भाषाविज्ञान के अध्ययन हेतु एक ऐतिहासिक रूप से मूल्यवान तथा शैक्षणिक दृष्टि से प्रेरणादायी स्रोत बना रहेगा।

8.3 संतुलित/मध्यममार्गी दृष्टिकोण

इन दोनों ध्रुवों के मध्य एक संतुलित दृष्टिकोण यह मानता है कि संस्कृत-AI अंतरसंबंध का वास्तविक मूल्य न तो इस अतिरिजित दावे में है कि "नासा संस्कृत का प्रयोग करता है," न ही इस पूर्ण नकार में कि "यह संबंध केवल एक मिथक है।" वास्तविक मूल्य इस बात में निहित है कि पाणिनि द्वारा विकसित औपचारिक विश्लेषण-पद्धति आज भी संगणनात्मक भाषाविज्ञान के छात्रों तथा शोधकर्ताओं के लिए रूपात्मक विश्लेषण, वाक्य-विन्यास पार्सिंग तथा ज्ञान-निरूपण के क्षेत्र में एक समृद्ध वैचारिक संसाधन (Conceptual Resource) प्रस्तुत करती है — जैसा कि हैदराबाद विश्वविद्यालय तथा इन्निया के संयुक्त शोध-कार्यों में प्रत्यक्षतः प्रमाणित होता है।⁴³

9. संस्कृत, कृत्रिम बुद्धिमत्ता एवं भविष्य की संभावनाएँ

9.1 बड़े भाषा मॉडल (LLM) के प्रशिक्षण में संस्कृत की भूमिका

समकालीन कृत्रिम बुद्धिमत्ता में प्रचलित बड़े भाषा मॉडलों के प्रशिक्षण हेतु विशाल एवं विविध भाषिक कॉर्पस की आवश्यकता होती है। संस्कृत का साहित्यिक भंडार — वेद, उपनिषद, महाकाव्य, दर्शन-ग्रंथ, आयुर्वेद तथा ज्योतिष के ग्रंथ — इतना विशाल तथा विषयगत रूप से विविध है कि यदि इसे उचित रूप से डिजिटलीकृत तथा संरचित (Structured) किया जाए, तो यह भाषा मॉडलों के प्रशिक्षण हेतु एक अमूल्य संसाधन सिद्ध हो सकता है।⁴⁴ तथापि वर्तमान में इस दिशा में एक शोध-पत्र के निष्कर्षानुसार डिजिटल संस्कृत कॉर्पस की मात्रा अंग्रेजी अथवा हिन्दी की तुलना में अत्यंत सीमित है, जो इस संभावना के पूर्ण दोहन में एक प्रमुख बाधा है।⁴⁵

9.2 प्राचीन पांडुलिपियों का डिजिटलीकरण एवं संरक्षण

कृत्रिम बुद्धिमत्ता आधारित प्रतिचित्र-पहचान (Optical Character Recognition - OCR) तथा हस्तलेख-पहचान (Handwriting Recognition) तकनीकों के माध्यम से संस्कृत की प्राचीन पांडुलिपियों को डिजिटल रूप में संरक्षित करने की संभावनाएँ भी उल्लेखनीय हैं।⁴⁶ यह न केवल भाषिक धरोहर के संरक्षण में सहायक है, अपितु भविष्य में इन ग्रंथों को शोध हेतु सुलभ बनाने में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकता है।

9.3 संस्कृत-आधारित प्रोग्रामिंग भाषा की परिकल्पना

कुछ शोधकर्ताओं ने यह भी प्रस्तावित किया है कि संस्कृत की धातु-प्रत्यय प्रणाली तथा उसकी प्रकृति-प्रत्यय पर आधारित नियमबद्ध शब्द-रचना पद्धति का उपयोग करते हुए एक प्रोग्रामिंग भाषा का ढाँचा तैयार किया जा सकता है, जिसमें संस्कृत की मूल संरचना का लाभ उठाकर अधिक प्राकृतिक-भाषा-सदृश (Natural-language-like) कोडिंग वातावरण विकसित किया जाए।⁴⁷ यद्यपि यह विचार अभी प्रयोगात्मक स्तर पर ही है, किन्तु यह इस बात का प्रमाण है कि संस्कृत-AI अंतरसंबंध का क्षेत्र निरंतर नए सैद्धांतिक प्रयोगों को प्रेरित कर रहा है।

10. चुनौतियाँ एवं सीमाएँ

इस अंतर्विषयक क्षेत्र की प्रगति के मार्ग में अनेक व्यावहारिक चुनौतियाँ विद्यमान हैं, जिनका ईमानदार विश्लेषण आवश्यक है:

प्रथम, संधि तथा समास की जटिलता। संस्कृत में संधि तथा समास की प्रक्रिया इतनी जटिल है कि एकल शब्द-श्रृंखला (Character String) से मूल शब्दों को पृथक् करना — जिसे "संधि-विच्छेद" कहा जाता है — आज भी एक संगणनात्मक रूप से चुनौतीपूर्ण समस्या बनी हुई है, विशेषकर जब एक ही संधि-रूप के अनेक संभावित विच्छेद हो सकते हैं।⁴⁸

द्वितीय, डिजिटल कॉर्पस की न्यूनता। आधुनिक कृत्रिम बुद्धिमत्ता तकनीकें, विशेषकर गहन अधिगम (Deep Learning) आधारित मॉडल, प्रशिक्षण हेतु विशाल मात्रा में डिजिटल पाठ्य-सामग्री की माँग करती हैं। संस्कृत का डिजिटलीकृत, स्वच्छ (Clean) तथा टैग किया गया कॉर्पस अभी भी अपेक्षाकृत सीमित है।⁴⁹

तृतीय, प्रशिक्षित मानव-संसाधन का अभाव। ऐसे विशेषज्ञों की संख्या सीमित है जो एक साथ पारंपरिक संस्कृत व्याकरण-शास्त्र तथा आधुनिक संगणक विज्ञान — दोनों में समान रूप से पारंगत हों। यह द्वि-विषयक (Interdisciplinary) दक्षता की आवश्यकता इस क्षेत्र में शोध की गति को सीमित करती है।⁵⁰

चतुर्थ, अतिरंजित लोकप्रिय दावों का प्रभाव। जैसा ऊपर विवेचित किया गया, इस विषय से जुड़े अनेक असत्यापित तथा अतिरंजित दावों ने विषय की वैज्ञानिक विश्वसनीयता को कभी-कभी क्षति पहुँचाई है, जिससे गंभीर शैक्षणिक शोध को भी संशय की दृष्टि से देखा जाने लगता है।⁵¹

11. निष्कर्ष

प्रस्तुत विश्लेषणात्मक साहित्यिक अध्ययन के आधार पर यह स्पष्ट रूप से प्रतिपादित किया जा सकता है कि संस्कृत भाषा और कंप्यूटर/कृत्रिम बुद्धिमत्ता के मध्य अंतरसंबंध एक बहुआयामी तथा वैध अकादमिक क्षेत्र है, जिसकी जड़ें महर्षि पाणिनि की अष्टाध्यायी की सूक्ष्म तथा वैज्ञानिक व्याकरण-प्रणाली में निहित हैं। रिक ब्रिग्स के 1985 के शोध-पत्र से आरंभ होकर फ्रिट्स स्टाल, पॉल किपास्क्री, जेर्गार्ड ह्युए, ओलिवर हेलविग तथा अंबा कुलकर्णी जैसे विद्वानों के अध्ययनों ने इस क्षेत्र को क्रमशः एक ठोस अकादमिक आधार प्रदान किया है। कारक-सिद्धान्त, सूत्र-शैली, अनुबंध-व्यवस्था तथा नियम-प्राथमिकता के सिद्धान्त — ये सभी आधुनिक औपचारिक भाषा-सिद्धान्त, ज्ञान-निरूपण प्रणालियों तथा प्रोग्रामिंग के मूल सिद्धान्तों से उल्लेखनीय साम्य प्रदर्शित करते हैं।

तथापि यह अध्ययन इस निष्कर्ष पर भी बल देता है कि इस अंतरसंबंध को समझने में वैज्ञानिक निष्पक्षता तथा तथ्यात्मक सतर्कता अनिवार्य है — यह क्षेत्र न तो लोकप्रिय मिथकों की भाँति अतिरंजित प्रचार का विषय बनाया जाना चाहिए, न ही आलोचनात्मक अतिवाद के कारण पूर्णतः नकार दिया जाना चाहिए। संस्कृत की सैद्धांतिक अनुकूलता को व्यावहारिक तकनीकी प्रगति में परिवर्तित करने हेतु डिजिटल कॉर्पस के विस्तार, अंतर्विषयक प्रशिक्षण तथा संस्थागत सहयोग की आवश्यकता है। यदि यह दिशा उचित रूप से अपनाई जाए, तो संस्कृत — जो स्वयं "संस्कृत" अर्थात् परिष्कृत, संस्कारयुक्त तथा व्यवस्थित भाषा है — निस्संदेह भविष्य की भाषा-प्रौद्योगिकी तथा कृत्रिम बुद्धिमत्ता के अध्ययन में एक सार्थक तथा प्रेरणादायी भूमिका निभा सकती है।

संदर्भ सूची

1. पाणिनि। अष्टाध्यायी। सं. पं. अलखदेव शर्मा। बनारस: चौखम्भा संस्कृत सीरीज ऑफिस; तिथि अज्ञात (प्राचीन मूल ग्रंथ, अनुमानित रचनाकाल चतुर्थ शताब्दी ईसा-पूर्व)।
2. Staal JF. Artificial Languages Across Sciences and Civilizations. Journal of Indian Philosophy. 2006;34(1-2):89-141.
3. Briggs R. Knowledge Representation in Sanskrit and Artificial Intelligence. AI Magazine. 1985;6(1):32-39.
4. Briggs R. Knowledge Representation in Sanskrit and Artificial Intelligence. AI Magazine. 1985;6(1):32-39.
5. Briggs R. Knowledge Representation in Sanskrit and Artificial Intelligence. AI Magazine. 1985;6(1):32-39.
6. Avasthi A. The Truth Behind the Sanskrit Argument. Medium. 2022 May.
7. Briggs R. Knowledge Representation in Sanskrit and Artificial Intelligence. AI Magazine. 1985;6(1):32-39.
8. भट्ट नागेश। वैयाकरण-सिद्धान्त-लघुमञ्जूषा। बनारस: चौखम्भा संस्कृत सीरीज ऑफिस; 1963।
9. Briggs R. Knowledge Representation in Sanskrit and Artificial Intelligence. AI Magazine. 1985;6(1):32-39.
10. Staal JF. Artificial Languages Across Sciences and Civilizations. Journal of Indian Philosophy. 2006;34(1-2):89-141.
11. Staal JF. Artificial Languages Across Sciences and Civilizations. Journal of Indian Philosophy. 2006;34(1-2):89-141.
12. Staal JF. Artificial Languages Across Sciences and Civilizations. Journal of Indian Philosophy. 2006;34(1-2):89-141.
13. Kiparsky P. On the Architecture of Panini's Grammar. In: Sanskrit Computational Linguistics. Berlin: Springer; 2009.
14. Huet G. Automata Mista. In: Verification: Theory and Practice. Berlin: Springer LNCS vol. 2772; 2004. p. 359-372.
15. Huet G. Lexicon-directed Segmentation and Tagging of Sanskrit. In: XIIth World Sanskrit Conference, Helsinki, Finland; 2003. Delhi: Motilal Banarsidass; 2006. p. 307-325.
16. Huet G. Shallow Syntax Analysis in Sanskrit Guided by Semantic Nets Constraints. In: Proceedings of International Workshop on Research Issues in Digital Libraries, Kolkata; 2006.

17. Hellwig O. SanskritTagger, a Stochastic Lexical and POS Tagger for Sanskrit. In: Proceedings of the First International Sanskrit Computational Linguistics Symposium, France; 2007.
18. Hyman MD. From Paninian Sandhi to Finite State Calculus. In: Sanskrit Computational Linguistics: First and Second International Symposia. Berlin: Springer; 2009.
19. Huet G, Kulkarni A, Scharf P, editors. Sanskrit Computational Linguistics: First and Second International Symposia, Revised Selected and Invited Papers. Berlin: Springer; 2009.
20. भारत सरकार, सूचना प्रौद्योगिकी विभाग। संस्कृत-हिन्दी मशीन अनुवाद (SHMT) संघटित परियोजना प्रतिवेदन। नई दिल्ली: जवाहरलाल नेहरू विश्वविद्यालय एवं सहभागी संस्थान; लगभग 2008-2012।
21. Chaitanya V, Sangal R. A Computational Grammar of Sanskrit. In: Proceedings of Symposium on Sanskrit and Related Studies. Pune: 1990s (मूल कार्य)।
22. Kulkarni A. Sanskrit Morphological Analyzer and Sandhi Splitter. Hyderabad: University of Hyderabad, Department of Sanskrit Studies; तिथि अज्ञात (ऑनलाइन उपकरण)।
23. Kulkarni A. Sanskrit Morphological Analyzer and Sandhi Splitter. Hyderabad: University of Hyderabad, Department of Sanskrit Studies।
24. Sanskrit Knowledge-based Systems: Annotation and Computational Tools [dissertation/preprint]. arXiv:2406.18276; 2024.
25. लेखक अज्ञात। संस्कृत भाषा और कृत्रिम बुद्धिमत्ता: मुद्दे और चुनौतियाँ। Idealistic Journal of Advanced Research in Progressive Spectrums (IJARPS). 2025 Apr 30. eISSN 2583-6986.
26. Quora उत्तरदाता। How true is Rick Briggs' 1985 claim about Sanskrit's knowledge representation framework? Quora [ऑनलाइन चर्चा मंच]; तिथि अनुमानित।
27. पतंजलि। महाभाष्य (पस्पशाह्निक)। सं. विभिन्न संस्करण। बनारस: चौखम्भा संस्कृत सीरीज; प्राचीन मूल ग्रंथ, अनुमानित रचनाकाल द्वितीय शताब्दी ईसा-पूर्व।
28. पाणिनीय परंपरा में प्रचलित लोकोक्ति, महाभाष्य-परंपरा से उद्धृता। स्रोत: चौखम्भा संस्कृत सीरीज, बनारस।
29. Kiparsky P. On the Architecture of Panini's Grammar. In: Sanskrit Computational Linguistics. Berlin: Springer; 2009.
30. Briggs R. Knowledge Representation in Sanskrit and Artificial Intelligence. AI Magazine. 1985;6(1):32-39.
31. पाणिनि। अष्टाध्यायी, सूत्र 1.4.2 (विप्रतिषेधे परं कार्यम्)। सं. पं. अलखदेव शर्मा। बनारस: चौखम्भा संस्कृत सीरीज ऑफिस।
32. व्यास। श्रीमद्भगवद्गीता, अध्याय 2, श्लोक 28। प्राचीन मूल ग्रंथ, विभिन्न मानक संस्करण उपलब्ध, यथा गीता प्रेस, गोरखपुर।
33. Staal JF. Artificial Languages Across Sciences and Civilizations. Journal of Indian Philosophy. 2006;34(1-2):89-141.
34. Huet G, Kulkarni A. Joint INRIA-University of Hyderabad Research Collaboration on Sanskrit Computational Tools. In: Sanskrit Computational Linguistics Symposia Proceedings. Berlin: Springer; 2009.
35. लेखक। A New Computational Schema for Euphonic Conjunctions in Sanskrit Processing। arXiv:0911.0894; 2009।
36. संस्कृत मशीन अनुवाद तुलनात्मक अध्ययन (SMT बनाम NMT)। Semantic Scholar अनुक्रमित शोध-सार, संस्कृत संगणनात्मक भाषाविज्ञान क्षेत्र।

37. अंग्रेजी-संस्कृत नियम-आधारित मशीन अनुवाद प्रणाली। Semantic Scholar अनुक्रमित शोध-सार, संस्कृत संगणनात्मक भाषाविज्ञान क्षेत्र।
38. Briggs R. Knowledge Representation in Sanskrit and Artificial Intelligence. AI Magazine. 1985;6(1):32-39.
39. Quora उत्तरदाता। How true is Rick Briggs' 1985 claim about Sanskrit's knowledge representation framework? Quora।
40. IJARPS शोध-पत्र। संस्कृत भाषा और कृत्रिम बुद्धिमत्ता: मुद्दे और चुनौतियां। 2025 Apr 30।
41. Blog post. Knowledge Representation in Sanskrit and Artificial Intelligence [ब्लॉग लेख जिसमें राष्ट्रपति रामनाथ कोविंद के 17वें श्री लाल बहादुर शास्त्री राष्ट्रीय संस्कृत विद्यापीठ सम्मेलन के वक्तव्य का उल्लेख]; प्रकाशन तिथि अनुमानित 2018-2019।
42. Avasthi A. The Truth Behind the Sanskrit Argument. Medium. 2022 May.
43. Kulkarni A. Sanskrit Morphological Analyzer and Sandhi Splitter. Hyderabad: University of Hyderabad।
44. IJARPS शोध-पत्र। संस्कृत भाषा और कृत्रिम बुद्धिमत्ता: मुद्दे और चुनौतियां। 2025 Apr 30।
45. IJARPS शोध-पत्र। संस्कृत भाषा और कृत्रिम बुद्धिमत्ता: मुद्दे और चुनौतियां। 2025 Apr 30।
46. Sanskrit Knowledge-based Systems: Annotation and Computational Tools। arXiv:2406.18276; 2024।
47. Chaitanya V, Sangal R. A Computational Grammar of Sanskrit। Pune।
48. लेखक। A New Computational Schema for Euphonic Conjunctions in Sanskrit Processing। arXiv:0911.0894; 2009।
49. IJARPS शोध-पत्र। संस्कृत भाषा और कृत्रिम बुद्धिमत्ता: मुद्दे और चुनौतियां। 2025 Apr 30।
50. IJARPS शोध-पत्र। संस्कृत भाषा और कृत्रिम बुद्धिमत्ता: मुद्दे और चुनौतियां। 2025 Apr 30।
51. Avasthi A. The Truth Behind the Sanskrit Argument. Medium. 2022 May.